

SÉRIE :
N° D'ORDRE
119

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITÉ DE LYON

POUR OBTENIR

LE TITRE DE DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ

PAR

Émile GAIGNEBET

Ingénieur I. E. T. et E. S. E., Licencié ès-sciences.

PREMIÈRE THÈSE. — UNE LANGUE VIVANTE INTERNATIONALE : LE DESSIN DE MACHINES.

DEUXIÈME THÈSE. — LA MESURE DES TORSEURS EN CONSTRUCTION AÉRONAUTIQUE.

Soutenues le 10 Juillet 1948 devant la Commission d'Examen.

MM. LONGCHAMBON..... Président.

EYRAUD..... Examineur.

BEYROUTH
Imprimerie Catholique

1948

SÉRIE :
N° D'ORDRE
119

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITÉ DE LYON

POUR OBTENIR

LE TITRE DE DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ

PAR

Émile GAIGNEBET

Ingénieur I. E. T. et E. S. E., Licencié ès-sciences.

PREMIÈRE THÈSE. — UNE LANGUE VIVANTE INTERNA-
TIONALE : LE DESSIN DE MACHINES.

DEUXIÈME THÈSE. — LA MESURE DES TORSEURS EN
CONSTRUCTION AÉRONAUTIQUE.

Soutenues le 10 Juillet 1948 devant la Commission d'Examen.

MM. LONGCHAMBON..... Président.

EYRAUD..... Examineur.

BEYROUTH

Imprimerie Catholique

1948

UNIVERSITÉ DE LYON - FACULTÉ DES SCIENCES

Doyen

M. DOUIN, , ,  I.

Assesseur

M. EYRAUD,  I., *Calcul différentiel et intégral*.

Doyen honoraire

M. LONGCHAMBON, , ,  I., Médaille de la Résistance, +.

Professeurs honoraires

MM. VESSIOT, C. ,  I.

MM. SIRE, ,  I. +.

DULAC, ,  I.

FROMAGEOT,  I.

VANEY, ,  I., +.

TRAVERS.

MEUNIER, O. ,  I.

LOCQUIN, ,  I.

Professeurs

MM. LONGCHAMBON, , ,  I., Méd. Résistance, +, *Minéralogie*.

DOUIN, , ,  I., *Botanique*.

DÉJARDIN, ,  I., *Physique*.

SOLLAUD,  I., *Zoologie*.

THIBAUD,  I., *Physique expérimentale*.

EYRAUD,  I., *Calcul différentiel et intégral*.

THORAL,  A., *Géologie*.

DŒUVRE,  I., *Chimie organique*.

PRETTRE, *Chimie minérale*.

KÜHNER, *Botanique*.

COURTY, *Chimie physique*.

CORDIER,  I., Ch. Mérite Agricole, +, *Physiologie*.

MALÉCOT, *Mécanique rationnelle*.

AUMÉRAS, *Chimie*.

DE LARAMBERGUE, *Zoologie*.

Maîtres de conférences et chargés de cours

MM. BERNARD, *Physique*.

MEUNIER, *Physique et Chimie biologique*.

EGER, *Mathématiques générales*.

GILLES, *Botanique*.

MOUSSA, *Physique*.

BENARD, *Chimie*.

PÂRIS, *Chimie*.

VIRET, *Géologie*.

Chargés de cours complémentaires

MM. DUFAY, *Astronomie et Physique supérieure*.

MAYET, ,  I., +, *Anthropologie*.

COLONGE,  A., *Chimie générale*.

M^{me} CHAIX, *Chimie biologique*.

MM. STIFFLING, *Météorologie*.

PELLETIER, *Géologie*.

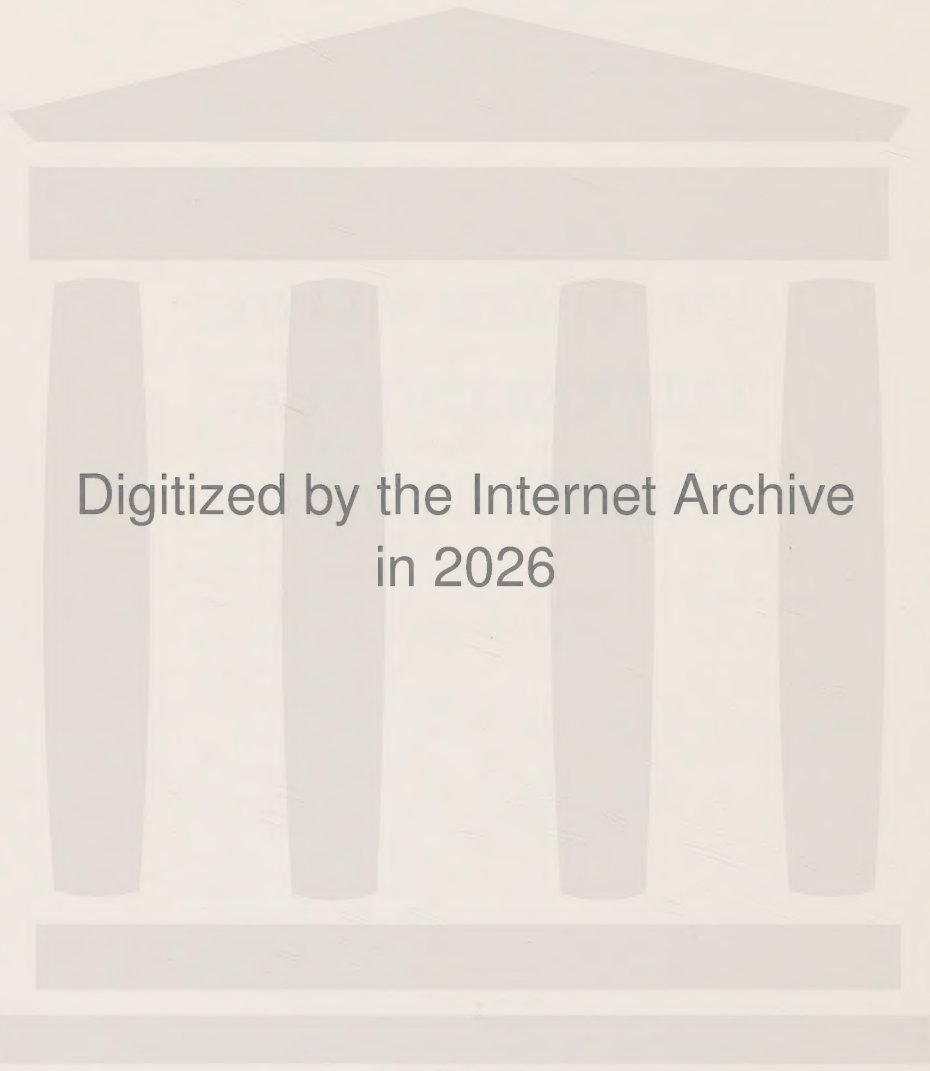
M^{me} FIASSON, *Zoologie*.

M. WAUTIER, *Zoologie*.

Secrétaire

M. ROUX,  I.

UNE LANGUE VIVANTE
INTERNATIONALE :
LE DESSIN DE MACHINES



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41553222_0079

PUBLICATIONS TECHNIQUES ET SCIENTIFIQUES
DE L'ÉCOLE FRANÇAISE D'INGÉNIEURS
DE BEYROUTH

N° 12

UNE LANGUE VIVANTE
INTERNATIONALE :
LE DESSIN DE MACHINES

PAR

E. GAIGNEBET



En dépôt à
L'ÉCOLE FRANÇAISE D'INGÉNIEURS — BEYROUTH (LIBAN)

1946

L'École française d'Ingénieurs de Beyrouth, Institution fondée en 1913 par l'Association lyonnaise pour le développement à l'Étranger de l'Enseignement Supérieur et Technique, placée sous le patronage et le contrôle de l'Université de Lyon et bénéficiant du concours de l'Université Saint Joseph de Beyrouth, édite, avec l'appui de la Mission culturelle auprès de la Légation de France, une série de travaux originaux d'ordre technique ou scientifique.

L'École n'est pas responsable des opinions émises et des théories développées par les auteurs dans ces Publications ; elle ne s'immisce pas dans les questions de priorité.



TABLE DES MATIÈRES

PRÉAMBULE

Objet de cette étude.	9
Justification de cette étude	9

PREMIÈRE PARTIE : LE SYMBOLISME GRAPHIQUE

La civilisation écrite.	11
1. Evolution des symbolismes	11
Pictographie	11
Idéographie	12
Phonétisme	13
Syllabisme	13
Alphabétisme.	13
Evolution des formes de lettres	14
2. Importance de la visualisation	15
Avantages de la visualisation	15
Inconvénients de la visualisation.	17
Moyens de visualisation : modèles et maquettes	18
Procédés divers	18
3. Problème mathématique des projections	18
Passage de trois à deux dimensions	18
Projections sur des plans séparés.	19
Projections sur un seul plan	20
Perspective vraie ou conique	21
Perspective cavalière	21
Perspectives axonométriques	22
Utilité des perspectives	22
Comparaison entre deux langages.	24

DEUXIÈME PARTIE : LE SYMBOLISME DU DESSIN DE MACHINES

Réalité et symbolisme	26
Etude critique des conventions normalisées.	26
1. Les projections	27
Disposition des projections.	27
Dessin de machines et géométrie.	27
Différences entre dessin et descriptive	28
Lecture d'une épure et d'un dessin	28
Dessin de machines et cinématique	29

Notations symboliques des théoriciens de la cinématique.	30
Notation symbolique de Reuleaux.	31
Utilité de ces représentations	32
Différences entre deux domaines voisins.	32
2. Les coupes et sections	33
3. Les échelles	33
Avantages de l'emploi des échelles	34
Inconvénients de l'emploi des échelles	35
Quand faut-il rendre le plan anisotrope ?	37
4. Les traits	37
Le paradoxe du trait fort	39
Abandon du trait de force	39
Puissance des symboles.	41
5. Les hachures.	42
Teintes dans l'architecture.	42
Teintes dans le dessin de machines	43
Du continu au discontinu	44
Evolution des hachures	45
Les six formes de hachures.	45
Abandon de l'équerre à 45°	46
Une digression savante	47
6. Les cotes	48
Les cotes dans les anciens dessins	48
Les cotes dans le dessin technique	49
Lignes de cotes, de rappel, Flèches	50
Manière de coter.	50
Position des cotes.	51
Limites de la spécialisation.	51
Le signe phi	52
La psychologie de la forme.	53
7. Les indications de limites et de façonnage	54
Indications de limites	54
Indications de façonnage	55
8. Les représentations symboliques.	55
Retour au module des architectes.	55
Les formes de filetages	56
Les pièces de révolution	58
Les têtes des boulons et des écrous	58
Les rivets et boulons	59
Les installations électriques	60
Les écritures dans les dessins techniques	61

TROISIÈME PARTIE : L'ÉVOLUTION DU DESSIN DE MACHINES : ADAPTATION
D'UNE LANGUE A SA FONCTION

1.	Influence du cerveau	62
	Rôle du degré d'évolution intellectuelle individuelle	62
	Rôle du degré d'évolution collective	63
	Place grandissante de la machine dans la civilisation	63
	Nécessité d'un terme nouveau.	64
2.	Influence de la main et des outils qui la prolongent	64
3.	Influence de l'œil	67
4.	Résistance à l'évolution	67
	Survivance des formes ancestrales	67
5.	Comparaison entre un dessin ancien et un dessin moderne.	70
6.	La normalisation. Cinétique de l'évolution.	71
	Théorie embryogénique de l'évolution	71
	Organismes normalisateurs	72
	Origine et buts de la normalisation	73
	Règles de la normalisation.	74
	La normalisation, facteur de progrès techniques	74
	La normalisation, facteur de progrès économiques et sociaux	75
7.	Valeur de culture du dessin	76
	Le point de vue du professeur.	76
	Les langues mortes par les langues vivantes.	76
	Complémentarité des divers modes d'expression de la pensée	77
8.	L'avenir du dessin technique	77
	BIBLIOGRAPHIE	78

Dans la même collection :

- N° 1 — IBRAHIM ABD-ËL-AL. — *Étude du ruissellement et de l'évaporation dans la Békaa.*
- N° 2 — ETIENNE CRAUSSE. — *Résultats expérimentaux concernant la répartition des vitesses en canaux découverts.*
- N° 3 — JEAN REY, S. J. — *Un nouveau mode d'amplification pour sismographes.*
- N° 4 — CHARLES GODARD et JEAN PICQ. — *Quelques principes sur la chauffe au mazout des locomotives.*
- N° 5 — SOUBHI MAZLOUM. — *De la variabilité des pluies dans le bassin oriental de la Méditerranée.*
- N° 6 — JEAN CHEVRIER. — *Ondes de pression à Ksara et à Bagdad.*
ETIENNE CRAUSSE. — *Note sur la forme des veines liquides au point de décollement d'une paroi.*
ETIENNE CRAUSSE. — *Remarques à propos du tarage des moulinets hydrométriques.*
LOUIS DUBERTRET. — *Sur le Turonien (Crétacé moyen) du Liban.*
THOMAS REIS. — *Contribution à l'étude de l'analyse quantitative des mélanges ternaires de Butane, Isobutane et Propane.*
R. WETZEL et J. HALLER. — *Sur le Quaternaire côtier de la région de Tripoli (Liban).*
- N° 7 — EUGÈNE CARBONNIER. — *Etude sur diverses méthodes de relèvement calculé.*
- N° 8 — PHILIPPE ASSOUD. — *Le reboisement, son rôle agricole et économique en Syrie et au Liban.*
- N° 9 — ETIENNE CRAUSSE. — *Sur quelques phénomènes dûs aux tourbillons alternés.*
- N° 10 — HENRY NACCACHE. — *D'une application de la méthode de descente infinie.*
THOMAS REIS. — *Règle pour la correction de la variation de densité des hydrocarbures liquides en fonction de la température.*
ALFRED WENDLING. — *Note sur la consolidation d'un viaduc.*
- N° 11 — ETIENNE DE VAUMAS. — *Le relief de Beyrouth et son influence sur le développement de la ville.*

PRÉAMBULE

Objet de cette étude

Un langage nouveau et autonome vient de se constituer récemment. Il est merveilleusement adapté à une fonction précise : la description des machines. Cette étude recherchera sous quelles influences son vocabulaire, sa grammaire et sa syntaxe se sont formés.

Pendant quelques millénaires, le dessin technique a évolué à la même cadence prudente que les autres langues. Brusquement, au cours du dernier lustre, des organismes spéciaux (Associations internationales de normalisation) ont vu le jour. Sous leur influence, le rythme de cette évolution s'est prodigieusement accéléré. Cette mobilité fugitive, comparable à celle d'un être vivant, subtile et curieuse, nous essayerons de la saisir sur le vif.

Justification de cette étude

Cette étude vise un double but : l'un, très vaste et un peu théorique ; l'autre, plus spécial et essentiellement pratique.

Elle s'adresse d'abord à tout homme cultivé, technicien ou non. Les chercheurs désireux de percer les mystères des moyens d'expression de la pensée humaine, de discerner les parentés entre les langues, de suivre leur spécialisation au cours des âges, d'analyser leur adaptation de plus en plus étroite à leurs fonctions, trouveront ample matière à réflexion.

Mais l'intérêt philosophique seul serait insuffisant à justifier la présentation d'une telle étude. L'essentiel est d'avoir dégagé et coordonné des lois immédiatement utilisables, dans un domaine où l'on ne connaissait que des règles. Ces lois serviront à trois groupes de spécialistes :

— aux membres des commissions chargées de la création continue des normes du dessin. La France a joué un grand rôle dans l'élaboration de cette langue ; elle conservera une place éminente dans les organismes internationaux si son esprit de clarté est guidé par des lois originales.

— aux professeurs plus soucieux de faire comprendre que de faire apprendre. Un problème particulier se pose dans l'enseignement supérieur. Un cours de dessin pour élèves-ingénieurs ne doit pas être purement empirique. Il peut se baser sur une culture générale et, s'appuyant sur la théorie, aller plus loin et plus vite, tout en réservant un temps suffisant aux travaux pratiques.

— aux techniciens et chefs de bureaux d'études. La transformation d'un recueil de recettes en code scientifique facilitera l'expression des formes de la machine.

PREMIÈRE PARTIE

LE SYMBOLISME GRAPHIQUE

La civilisation écrite

Les grandes étapes des civilisations sont liées aux modes de transmission de la pensée humaine. Les trois principaux stades de l'évolution sont les gestes, la parole, l'écriture. Ils sont plus ou moins imbriqués. Ce schéma est valable depuis la plus haute antiquité jusqu'à l'invention des machines parlantes. Dans ces dernières, des traces mécaniques, magnétiques ou photographiques sont interprétables par l'oreille.

Or la représentation de la machine n'a pas dépassé le stade graphique, soit que ce mode convienne mieux à sa nature propre, soit que l'habitude d'un autre mode de description ne soit pas encore prise.

Cette étude se présente essentiellement comme une comparaison entre deux arts graphiques consacrés à deux modes de pensée : la pensée non technique et la pensée technique.

1. — Évolution des symbolismes.

Pictographie

Quarante millénaires avant Jésus-Christ (au moins), nos lointains ancêtres, avec un os pointu ou un éclat de silex, gravaient des scènes familières sur les parois de leurs cavernes. Plus rarement, ils modelaient dans l'argile des formes d'animaux.

S'agissait-il de pictographie pure ? Le but de ce dessin était-il décoratif ? Ce n'était certainement pas de l'art pour l'art. Une idée germait déjà sous la figure. Son sens était rudimentaire comme les pensées frustes qu'elle exprimait.

Une scène de chasse était plus que la description d'un événement passé : c'était la préparation d'une expédition future.

La correspondance entre deux choses aussi différentes que la réalité et son image était déjà créée. Les notions fondamentales de toute figuration graphique étaient appliquées : réduction d'un volume à une surface, réduction de cette projection à un trait, emploi de l'échelle, déformations dues à la perspective..., autant d'anamorphoses de la vérité.

La figure 1 représente un dessin du Cap River, dans le Michigan. C'est le témoignage d'une civilisation de même étage que celle de Cro-Magnon. Sa lecture

est assez claire : c'est, visiblement, le récit d'une expédition de chasse. Elle eut lieu dans 5 canots, portant 51 hommes. Le premier était conduit par un lieutenant, le « roi des pêcheurs », représenté par son symbole, l'oiseau-pêcheur. La traversée dura trois jours, « trois soleils ». L'atterrissage est symbolisé par la tortue terrestre. En avant de la tortue, on voit un guerrier armé d'une massue, monté sur un cheval, et un aigle, symbole du courage.

Le bas du tableau représente le secours accordé à l'expédition par deux puissants génies : la panthère de nuit et le grand serpent.

Sur d'autres descriptions du même genre, des barres tracées parallèlement marqueront le nombre de batailles livrées par un chef ou les blessures qu'il a reçues. Une tête d'élan rappellera un combat qu'il soutint contre un de ces animaux. Son symbole ou son totem renversé indiquera qu'il est mort.

La lecture détaillée de cette gravure est capitale car, par de nombreux côtés, un dessin de machine se lit de façon presque identique.

Les systèmes hiéroglyphiques étaient une pictographie perfectionnée. Ils représentent le soleil — (fig. 2) — par un disque centré, la grue — (fig. 3) — ou le bœuf — (fig. 4) — , par une image stylisée.



Fig. 2. — Le soleil.



Fig. 3. — La grue.



Fig. 4. — Le bœuf.

Bientôt, les hiéroglyphes permirent la fixation d'une idée par une phrase imposée.

Idéographie

La juxtaposition d'images complètes manquait de souplesse. Le symbolisme, bon serviteur, allégea le procédé. Par une sorte de synecdoche, une partie désigna le tout : tête de bœuf pour bœuf entier. Certains signes revêtirent un sens plus abstrait et plus général : le disque solaire signifia le jour.

C'était déjà l'écriture idéographique, apte à fixer les idées pour les yeux, mais incapable d'enregistrer les sons pour la langue, ou les formes grammaticales.

A ce stade de symbolisme restreint, l'écriture était presque universelle, presque intelligible pour tous les hommes : c'était une pasigraphie.

Par de nombreux côtés, le dessin de machines est aussi une pasigraphie.

D'autres représentations de machines (appareils électriques, notation des fonctions cinématiques par Babbage) ou d'autres signes utiles aux sciences (notations algébriques, chimiques) sont davantage conventionnels.

Les panneaux de signalisation du Code de la Route (virages, cassis, enfants se tenant par la main) sont des exemples modernes de pasigraphie idéographique.

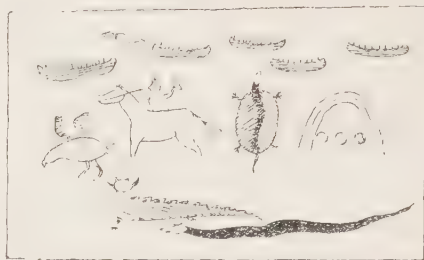


Fig. 1. — Dessin du Cap River

Il serait précieux de posséder une pasigraphie capable d'exprimer des idées importantes : Leibnitz conçut un tel système.

Phonétisme

La correspondance entre dessins hiéroglyphiques et sons ne tarda pas à apparaître. Le sens fut oublié et la prononciation seule retenue, passage essentiel du signe idéographique à la valeur phonétique constante.

Les hiéroglyphes se lurent dès lors de la même façon que nous déchiffrons ces amusantes devinettes appelées rébus.

Syllabisme

L'évolution se poursuivit.

Les idéogrammes les plus commodes exprimaient des mots d'une seule syllabe : la jambe : *rad* (fig. 5), le couteau : *das* (fig. 6) ¹. La combinaison du signe de la jambe et du signe du couteau signifiera une amputation (fig. 7) ².



Fig. 5. — La jambe.



Fig. 6. — Le couteau.



Fig. 7. — L'amputation.

Alphabétisme

Une dernière décomposition se produisit.

Certains mots très courts, constitués par une consonne et une voyelle, prêtèrent leur consonne pour exprimer ce même son dans d'autres mots et on eut ainsi des signes qui nous apparaissent comme alphabétiques : *ra*, la bouche, devint R (fig. 8), l'eau, devint N (fig. 9).



Fig. 8. — La bouche.



Fig. 9. — L'eau.

En fin de compte, l'écriture hiéroglyphique était un mélange de trois systèmes représentant trois stades de l'évolution : idéogrammes, syllabes, lettres.

L'écriture chinoise actuelle n'a pas dépassé ce stade : elle comprend deux cents signes idéographiques et des signes phonétiques.

Ce fut le mérite des navigateurs phéniciens, mus par les besoins du commerce, de pousser l'évolution amorcée jusqu'à des limites si parfaites que, depuis plus de trois mille ans, elles n'ont pas été franchies. Monsicur Dunand déchiffra sur le tombeau d'Ahiram, roi de Byblos, un alphabet d'environ 22 lettres (fig. 10). L'émir Maurice Chéhab conserve, au Musée de Beyrouth, des fragments de textes écrits du XV^e au XVI^e siècle avant Jésus-Christ.

A chaque lettre étaient affectés une forme précise et un son simple.

(1) Dans l'écriture hiéroglyphique, les voyelles n'étant pas notées, nous ajoutons *a* pour aider à prononcer les consonnes.

(2) A. H. GARDINER : *Egyptian Grammar*, Oxford 1927, p. 449, n° 57.

Tous les alphabets dérivent du phénicien : arabe, allemand, russe... L'alphabet latin provient d'un alphabet adopté par les Grecs neuf cents ans avant Jésus-Christ et perfectionné par l'adjonction de voyelles. Les formes de passage des



Fig. 10. — Sarcophage d'Ahiaram. Sur le couvercle, première inscription alphabétique connue : premier exemple de l'écriture-figure.

lettres phéniciennes aux lettres des alphabets dérivés ont été spécialement étudiées par le Docteur Drioton, Directeur général des Antiquités égyptiennes.

Sans aucun apprentissage, l'homme des cavernes contemplant un troupeau de bisons poursuivis par des chasseurs à l'arc interprétait la scène intuitivement, presque sans initiation préalable. Un tel tableau, traduit en langage alphabétique, demeure hermétiquement fermé à tous ceux qui n'en ont pas la clé. Alphabet, outil précieux qu'il faut payer d'avance !

Il en est de même dans le dessin de machines.

Tout progrès du symbolisme enrichit le sens des signes, mais complique singulièrement la lecture.

Évolution des formes des lettres

L'alphabet, et même les alphabets, une fois trouvés, ne se fixèrent pas. Les formes des lettres évoluèrent pour satisfaire à deux grands principes quelque peu incompatibles. En effet, les tendances à la plus grande facilité du tracé et à la plus grande commodité de lecture ont des exigences opposées. La main, levier de faible amplitude, articulé sur les rotules imparfaites du poignet et du coude, doit revenir souvent sur elle-même ; elle se complait dans les entrelacs et les boucles compliquées. L'œil préfère les droites et les courbes simples.

Les premiers hiéroglyphes étaient tracés sur des monuments publics, dans le granit dur, au moyen d'un burin guidé par la règle et le compas.

Dès qu'il s'agit d'écrire sur du papyrus avec un roseau, l'écriture devint cursive. L'assemblage de droites et d'arcs de cercle fut remplacé par un enchevêtrement de courbes : ce fut le hiératique et le démotique. Une évolution semblable se produisit pour les écritures chinoise, cunéiforme, etc. Beaucoup d'inscriptions grecques et romaines furent gravées sur les monuments : l'alphabet resta donc composé de droites et de cercles. L'exemple le plus parfait en est fourni par les alphabets à majuscules ; c'est l'apogée de la conception épigraphique.

Plus tard, l'écriture à la main et, en particulier, l'usage de la plume d'oie et du parchemin, firent réapparaître les formes cursives.

Nouveau renversement avec l'invention de l'imprimerie, qui ressuscita des formes oubliées. En effet, les caractères typographiques une fois fondus, il n'existe plus de difficultés de tracé. La lisibilité reprit une importance prépondérante. Revanche de l'œil sur la main ! Récemment, la diffusion des machines à écrire favorisa une tendance analogue. Ces machines, comme les presses d'imprimerie, abandonnèrent les caractères cursifs. L'usage de ces derniers resta limité à des emplois restreints (cartes de visite).

Une science, étudiée plus loin, fut créée récemment en Allemagne : c'est la « Gestalttheorie » ou théorie de la forme. Elle exprime les lois de perceptibilité et, par suite, de lisibilité, des groupes et des ensembles. Certains de ces principes sont intuitifs. Chaque mot d'un texte écrit entièrement en majuscules prend la forme d'un rectangle monotone : il n'offre à l'œil aucun point de repère. Il est moins lisible qu'un texte en minuscules. Car l'œil saisit en bloc la silhouette des mots ou des groupes de mots.

Les pédagogues français préconisent la lecture globale. Le lecteur ordinaire procède par synthèse. A l'inverse, le correcteur d'imprimerie analyse et décompose lettre à lettre.

L'évolution des formes de lettres continuera, et la solution épigraphique sera progressivement abandonnée.

2. — Importance de la visualisation.

Avantages de la visualisation

Cette étude sur le dessin de machines pourrait porter en sous-titre : plaider pour la visualisation.

Visualisation ! Barbarisme nécessaire à la machine qui en a exigé bien d'autres (comme le mot robuste). Les savants n'ayant pas élaboré le néologisme : visionisation, les mécaniciens ont forgé, tant bien que mal : visualisation.

C'est la transformation d'un phénomène quelconque en un phénomène visible plus facile à observer. Son importance dans les sciences est capitale.

Maxwell prétendait que la phase essentielle de la connaissance était la mesure. Trancher de la supériorité entre deux notions aussi complémentaires que

visualisation et mensuration, c'est donner la solution d'un problème qui ne se pose pas. Par la visualisation, nous prenons contact avec les phénomènes ; par la mensuration, nous jugeons de leur importance. Un aphorisme de Michel-Ange, qui était du métier, clôt le débat : « La base de toute science est dans le trait » ; sur cette base, la mathématisation s'édifie.

La visualisation ramène un phénomène à une position ou à une forme. Elle offre deux avantages essentiels, particulièrement précieux dans le dessin de machines.

Le premier est de permettre la juxtaposition d'une configuration nouvelle à une grandeur dont l'échelle est déjà enregistrée, et de faciliter par conséquent la comparaison de deux grandeurs.

Le deuxième est la « synoptisation », c'est-à-dire la possibilité de ramener un phénomène d'étendue quelconque à une représentation qu'un seul coup d'œil permet d'embrasser.

Le champ de netteté de l'œil est un cône d'angle solide 30° environ. L'œil normal peut voir distinctement dans son ensemble une figure tracée sur une feuille carrée située à une distance de l'œil égale à trois fois son côté ; la mobilité du globe oculaire permet en pratique d'explorer sans peine une surface dix fois plus grande. L'emploi d'échelles dans le dessin est justifié, non seulement par des motifs d'encombrement, mais aussi par les avantages de la lecture globale.

D'autres disciplines savent utiliser dans ce but les changements d'échelles.

Pour les aviateurs, la face de la terre change d'échelle au cours d'une ascension. Des phénomènes invisibles au sol se révèlent à leurs yeux. Une faille géologique de cinquante kilomètres de longueur peut passer inaperçue pour un observateur averti qui s'est promené toute la journée dessus. Elle ne peut échapper au regard de l'aviateur qui la domine avec un recul de plusieurs milliers de mètres de hauteur. Le Révérend Père Poidebard, survolant le désert syrien au coucher du soleil, a retrouvé, par l'utilisation des rayons rasants, des traces de routes et d'ouvrages militaires romains que des archéologues avaient foulés sans les voir. Dans le sol plat du désert, un camp romain, qui est un carré parfait de deux cents mètres de côté, se manifeste au piéton comme un vague talus. Pour un aviateur, qui reconstruit les quatre alignements, il redevient un carré.

Sur le plan de Beyrouth, d'après certains quadrillages lacunaires à angles droits, l'urbaniste Ecochard retrace l'évolution de la ville depuis la plus haute antiquité. S'il parcourt à pied les voies retrouvées sur la carte, elles disparaissent sur le terrain. L'urbanisation se fait mieux sur plan que dans les rues car, comme dit plaisamment la chanson, « la hauteur des maisons empêche de voir la ville. »

Les géographes avec leurs cartes et leurs globes, les chimistes avec leurs tableaux et classifications (Mendéléef)..., tous les savants dans tous les domaines utilisent la vertu féconde de la visualisation.

La bonne mise en pages d'un quotidien peut assurer son succès.

L'art publicitaire attache une grande importance à la disposition des annonces.

Rabelais s'amusait dans des calligrammes, tels que le fameux oracle de la Dive Bouteille, à de curieux arrangements synoptiques.

En général, les instruments d'optique ont pour but d'agrandir l'angle sous lequel les objets sont vus, de les « grossir », selon l'expression vulgaire. Inversement, l'échelle, employée par les dessinateurs, est, en général, un moyen de réduction. Elle diminue donc l'angle sous lequel est vue la figure des objets. Elle les rapetisse, mais elle augmente le champ, si l'on définit le champ, non par un angle solide, mais par l'étendue de la surface qu'un seul coup d'œil permet d'embrasser. L'emploi des instruments d'observation convient à l'étude des détails pour des objets très petits ou très éloignés. L'emploi de l'échelle de réduction s'impose dans les dessins pour la perception synoptique des grandes machines : sans la visualisation et l'emploi d'échelles, il est impossible de concevoir les relations entre complexes d'organes.

Le moyen de choix pour exprimer la machine est un dessin d'une espèce particulière. Il en résulte une facilité de reproduction étudiée plus loin.

Dès à présent, la télévision ouvre une ère nouvelle dans la transmission des dessins en général, et du dessin de machines en particulier. Au printemps 1944, les armées alliées en campagne ont transmis pour la première fois par télévision des croquis militaires. Au dire de Napoléon, ces petits dessins valent mieux qu'un long rapport. Bientôt, il sera plus facile d'envoyer aux Antipodes la description dessinée d'un avion que la description écrite d'une soupape de son moteur.

Inconvénients de la visualisation

Pour passer de l'objet à l'image, une double transformation est nécessaire : réduction de trois à deux dimensions, modification des longueurs.

Une image, dite fidèle, diffère beaucoup de l'objet. De plus, l'œil est victime de nombreuses illusions que le jugement doit redresser.

Les illusions provenant de l'emploi de l'échelle seront étudiées au chapitre consacré à l'utilisation des échelles normalisées.

Mais l'évaluation correcte de la grandeur vraie des pièces, dans une figure tracée à l'échelle 1/1, soulève d'assez grosses difficultés. En effet, la vision binoculaire exagère le relief de l'objet matériel et écrase son image.

Supposons une pièce de machine réalisée à l'atelier, d'après un dessin. L'illusion précédente va jouer en sens inverse : le dessin de la pièce donnait le sentiment d'être correct ; la pièce fabriquée produit l'impression d'être plus lourde qu'il n'était prévu.

Une grande expérience et beaucoup d'attention sont nécessaires pour éviter et corriger ces illusions. L'appui du calcul est indispensable : le mécanicien doit connaître la résistance des matériaux et avoir confiance dans son porte-plume qui, comme dirait Langevin, connaît mieux la mécanique que lui-même.

Les inconvénients de la visualisation, pour être graves, ne sont pas insurmontables, surtout avec l'aide des mathématiques. Comparés à ses avantages, ils sont tolérables.

Moyens de visualisation : modèles et maquettes.

Les modèles sont de véritables machines, identiques à l'original, sauf en ce qui concerne la grandeur. En général, l'échelle est plus petite que l'unité et le modèle est appelé réduit.

Le modèle est aussi difficile à concevoir que la machine qu'il exprime. Il est seulement plus facile à réaliser car il est moins lourd, moins cher, et moins long à fabriquer. Il a des avantages didactiques qui le font apprécier dans les écoles et les musées. Il est en général exécuté d'après un plan et il ne peut se substituer à lui.

La maquette a l'aspect de la machine sans en avoir la constitution intime.

La maquette n'est pas seulement utile pour matérialiser une forme, elle l'est aussi pour l'établissement du projet définitif.

Les architectes l'emploient depuis les temps les plus reculés. Michel-Ange, n'ayant pu achever avant sa mort la construction du dôme de Saint-Pierre, en laissa une maquette en bois. Les constructeurs navals et aériens travaillent leurs projets au moyen de maquettes en paraffine. Ils leur font subir des essais au bassin de carène ou en soufflerie. Ils modifient les formes grâce à la plasticité de la matière. Le résultat une fois atteint, la maquette n'est pas envoyée à l'atelier : elle est traduite par un dessin, qui reste le langage final de l'inventeur.

Procédés divers

La véritable difficulté, pour l'intelligibilité d'un plan, réside dans la lecture des parties cachées.

La multiplication des coupes permet d'explorer la machine dans toute sa profondeur ; mais la reconstitution du relief, par superposition mentale de vues plates, demande une sorte de génie.

Depuis longtemps, les traités d'anatomie montrent les organes en profondeur par la superposition d'une série de vignettes colorées articulées par de petites charnières. Les organes se découvrent les uns sous les autres. L'Encyclopédie Quillet utilise, pour des machines compliquées (paquebots, locomotives électriques,...), un procédé identique.

La netteté relative des sections superposées facilite également la lisibilité. Cette graduation peut s'obtenir en superposant des plans tracés sur papier transparent. La décroissance de netteté, d'avant en arrière, reconstituerait certainement, sous faible épaisseur, l'impression de profondeur dans l'espace. Ce procédé tient de la stéréophotographie et rappelle les effets de surimpression au cinéma. Il est au plan ce que les modèles en verre ou en matière organique transparente sont aux modèles opaques.

3. — Problème mathématique des projections.

Passage de trois à deux dimensions

Les questions d'ordre mathématique que le dessin de machines devra résoudre

font l'objet des géométries projectives. Les deux systèmes les plus connus sont la géométrie cotée et la géométrie descriptive.

L'espace ordinaire, l'espace concret, celui dans lequel le mécanicien fait mouvoir ses bielles et ses manivelles, est un espace à trois dimensions. La représentation conforme des bielles et des manivelles exige un système de références de même espèce, constitué par exemple par un ensemble de trois axes de coordonnées OX, OY, OZ , de préférence trirectangulaires. En mécanique, quand la pesanteur intervient, OZ est choisi dans la direction et en sens inverse du fil à plomb. Le plan XOY est horizontal, les deux autres plans du trièdre sont verticaux, au sens physique du mot.

Projections sur des plans séparés

Un point de la figure peut être défini par trois nombres, exprimant sa distance à chacun des plans du trièdre de références. Les relations algébriques entre ces trois nombres font l'objet de la géométrie analytique.

On obtient le même résultat, non par trois nombres, mais par un dessin et un nombre : le dessin est la projection du point sur le plan XOY , et le nombre est la valeur de Z , appelée cote. Les topographes, les géographes, emploient volontiers ce



Fig. 11. — Brique posée à plat.

procédé. Les mécaniciens s'en servent quelquefois pour des pièces plates. Par exemple, un gabarit en tôle est représenté par une seule vue et par un chiffre, l'épaisseur uniforme de la tôle. La figure 11 montre une brique définie par ce procédé.

Une troisième méthode pour définir la position d'un point consiste à en donner deux projections, c'est-à-dire deux dessins. Il n'y a plus de chiffre. C'est le procédé général de la géométrie descriptive. Soit une brique, figurée en plan et en élévation (fig. 12). Sa largeur est dessinée deux fois. La méthode de la descriptive repose sur l'utilisation rationnelle de cette double figuration.

Dans son désir de clarté, le dessin de machines pousse plus loin cette prodigalité. Il donne la projection sur le deuxième plan vertical de référence : troisième et nouveau dessin (fig. 13). La représentation fournit $3 \times 2 = 6$ dimensions, donc deux fois trop. Chaque ligne de la pièce est dessinée deux fois. Ceci est évident pour les habitués des géométries projectives. Mais ce n'est pas évident pour tout le monde, et il est bon, en abordant une science nouvelle, de secouer de vieilles évidences, au risque de les ébranler.

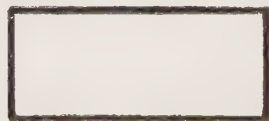


Fig. 12. — Brique en plan et en élévation.

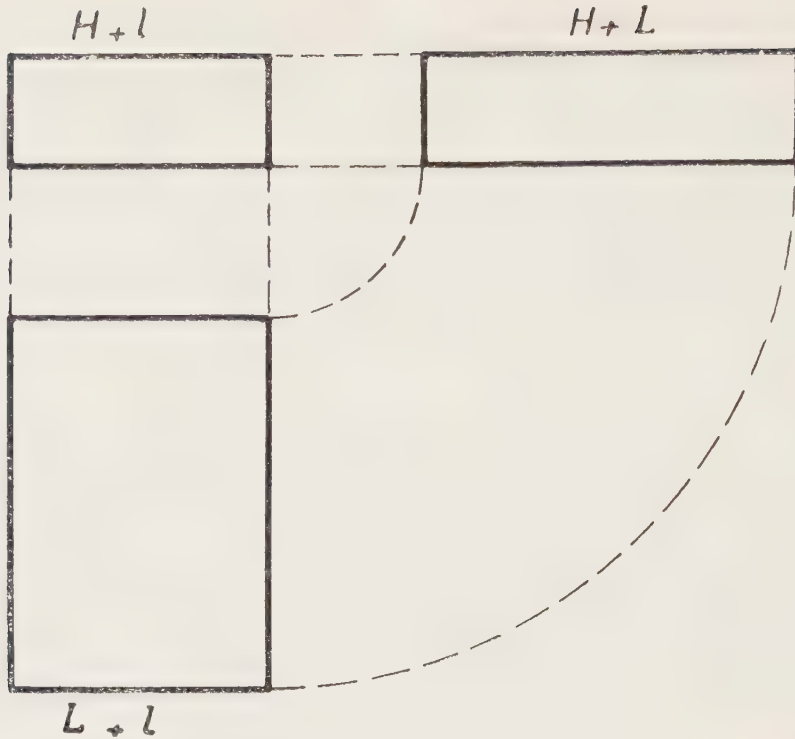


Fig. 13. — Brique définie par trois projections.

Pourquoi le dessin de machines ne serait-il pas plus économe ? Pourquoi, quand il donne trois projections n'indiquerait-il pas seulement sur chacune les grandeurs parallèles à l'une des trois directions de l'espace ? Une brique serait représentée par la figure 14, théoriquement suffisante, mais illisible en pratique.

En effet, la lecture, synthèse mentale, s'accommode fort bien d'un superflu à éliminer. Elle préfère cette opération à la juxtaposition du strict nécessaire. Une brique entaillée en forme de V demande pour être comprise un réel effort d'imagination (fig. 15). L'esprit du dessin de machines est, précisément, d'éviter tout effort de lecture.

Projection sur un seul plan

Dans les systèmes précédents, chaque plan de référence est à moitié spécialisé. Il supporte deux des dimensions de l'espace.

Au moyen de projections obliques, il est possible de représenter sur un seul plan des objets tridimensionnels. Il suffit de donner des

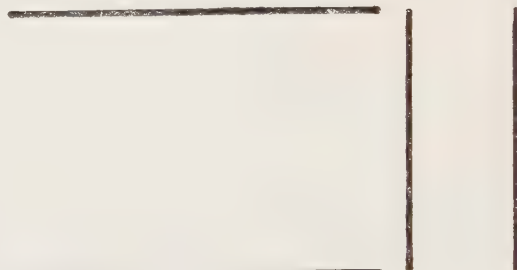


Fig. 13. — Brique définie par ses trois dimensions.

propriétés particulières aux directions de ce plan : c'est le procédé du dessin ordinaire. L'orientation du plan se fait suivant les règles de la perspective classique.

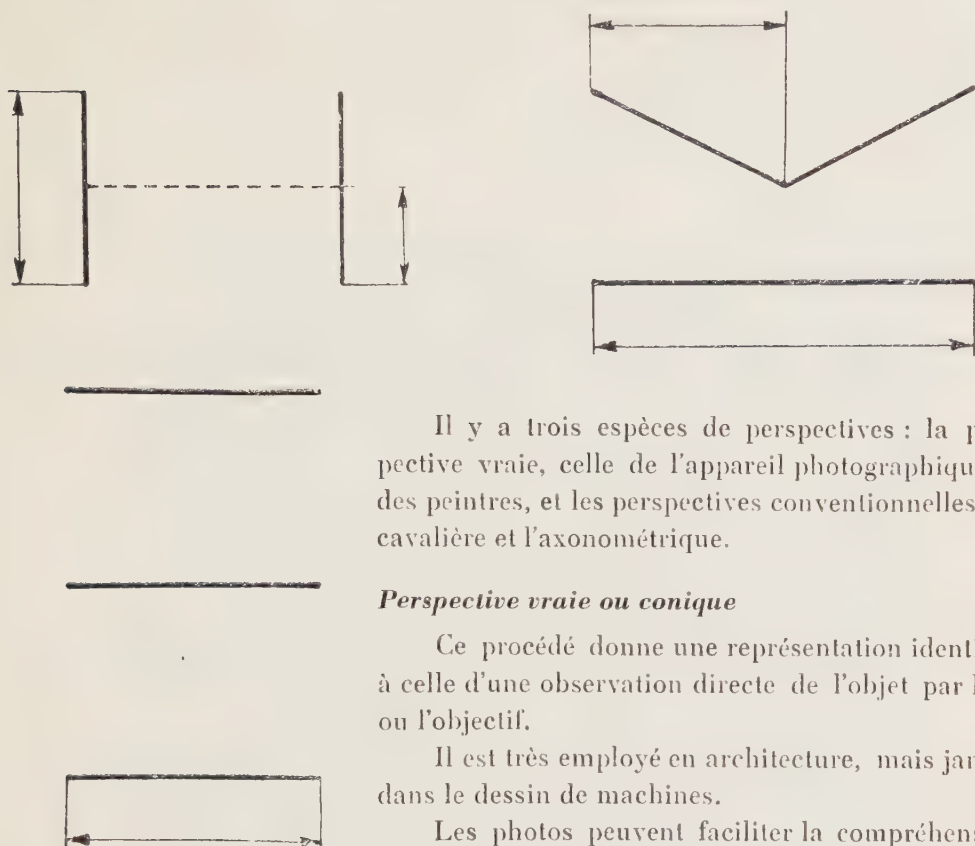


Fig. 15.— Brique entaillée en V.

Il y a trois espèces de perspectives : la perspective vraie, celle de l'appareil photographique ou des peintres, et les perspectives conventionnelles : la cavalière et l'axonométrique.

Perspective vraie ou conique

Ce procédé donne une représentation identique à celle d'une observation directe de l'objet par l'œil ou l'objectif.

Il est très employé en architecture, mais jamais dans le dessin de machines.

Les photos peuvent faciliter la compréhension des pièces, mais elles sont inutilisables à l'atelier de fabrication. Elles plaisent par leur aspect flatteur, et

font l'ornement des catalogues destinés, soit aux profanes, soit aux plagiaires éventuels qu'il ne faut pas trop bien renseigner.

Le vrai mécanicien dédaigne les luxueuses revues, illustrées de photos sur papier glacé. Il a l'impression qu'on lui cache quelque chose. Rien ne remplace pour lui les traits nets et précis des projections conventionnelles.

Perspective cavalière

Elles reposent sur trois règles :

1°) Les figures contenues dans un plan parallèle au plan de projection se projettent en vraie grandeur.

2°) Les droites perpendiculaires au plan de projection se projettent suivant une direction arbitraire, appelée direction des fuyantes. L'angle des fuyantes et de l'horizontale vaut habituellement 30°, 45° ou 60°.

3°) Les longueurs comptées sur les fuyantes sont réduites dans un rapport arbitraire. En général, sa valeur est 1/2, 3/4, voire 1/1.

Perspectives axonométriques

Trois directions quelconques, OX , OY , OZ , du plan sont considérées, par convention, comme les projections des trois arêtes d'un trièdre rectangle.

Les grandeurs comptées sur chaque direction sont réduites respectivement dans les rapports arbitraires donnés, R_x , R_y , R_z .

Deux cas particuliers sont plus faciles à tracer.

Dans le premier, les directions OX , OY , sont rectangulaires et les rapports R_x et R_y sont égaux à 1. C'est la perspective orthométrique.

Dans le deuxième cas, les trois directions OX_1 , OY_1 , OZ_1 sont à 120° . On peut admettre que la déformation est égale selon les trois directions et supprimer tout rapport de réduction. C'est la perspective isométrique.

Les figures (16), (17) et (18) représentent la même pièce, V de tracage, en projections orthogonales, en perspective cavalière, en perspective axonométrique.



Fig. 16. — V de tracage en projections orthogonales.



Fig. 17. — V de tracage en perspective cavalière.

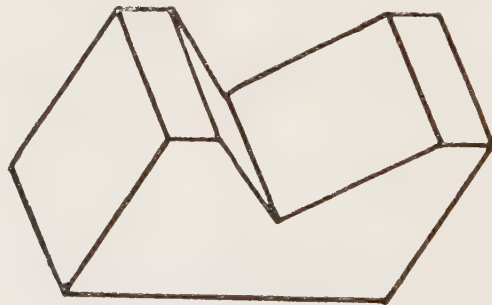


Fig. 18. — V de tracage en perspective axonométrique.

Utilité des perspectives

Un borgne verrait le monde suivant une perspective vraie. Un homme normal perçoit deux perspectives et en fait la synthèse ; il connaît donc quatre dimensions ; mais ces perspectives diffèrent très peu, car la parallaxe est toujours faible. La mémoire, aidée par les ombres, peut donner à un borgne la notion de relief.

Les perspectives conventionnelles ont l'avantage de reproduire assez exactement l'aspect ordinaire des pièces. Ces perspectives sont employées dans les écoles à cause de leurs qualités pédagogiques ; elles fournissent le thème de nombreux exercices d'assouplissement : passage de la perspective aux projections orthogonales, et inversement.

Pour des pièces compliquées, la lisibilité apparente est diminuée par l'enche-

vêtement d'un triple système de lignes de cotes. Les raccordements ne peuvent quelquefois s'indiquer qu'au moyen de petits traits semblables aux ombres du dessin artistique et appelés « indications de forme. »

Les perspectives sont commodées pour matérialiser une première idée sous forme d'une esquisse rapide jetée sur le papier, croquis sommaire encore qualitatif qui sera repris ultérieurement. Tels sont les admirables dessins à la plume par lesquels Léonard de Vinci notait ses géniales inventions (fig. 19).

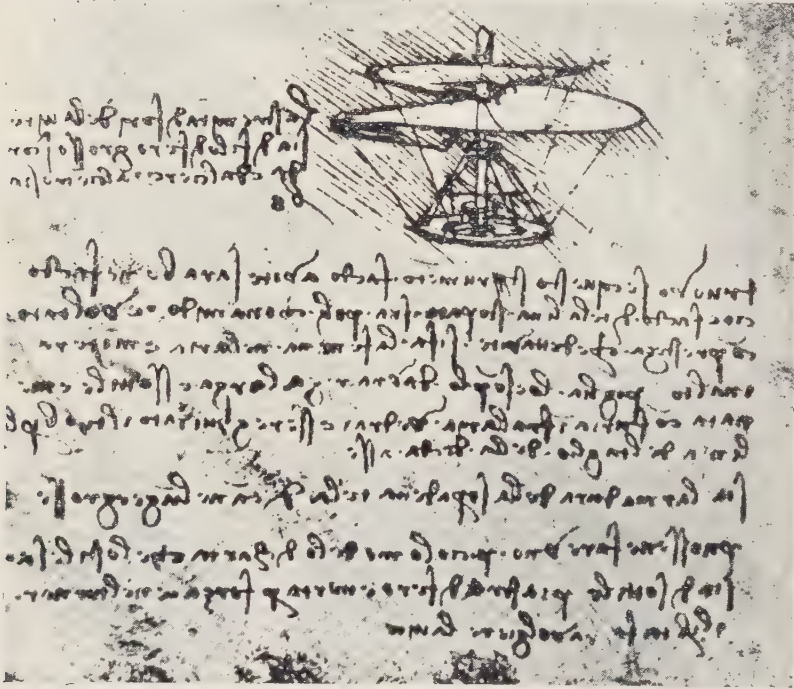


Fig. 19. — Dessin à la plume de Léonard de Vinci. Léonard de Vinci écrivait à l'envers, en se servant d'un miroir, de façon à protéger le secret de ses inventions.

Dans certains cas, l'interprétation des projections orthogonale, soulève de réelles difficultés. Une tuyère d'échappement de locomotive avec ses formes de raccordement, ses surfaces gauches, est presque impossible à comprendre sans un croquis auxiliaire en perspective (fig. 20 et 21).

Hors ces cas exceptionnels, le dessin de machines répudie les perspectives.

L'abandon successif de la perspective vraie, puis des perspectives conventionnelles, au profit des projections orthogonales, marque deux étapes du passage de la pictographie à l'idéographie.

La remarque faite à propos des écritures est valable pour les perspectives : par rapport aux projections orthogonales, elles sont plus difficiles à tracer, mais plus faciles à lire pour un profane ; les projections géométriques, plus symboliques,

exigent une initiation. Mais, si le symbolisme devient trop hermétique, un retour en arrière s'impose et la perspective vient au secours de la géométrie. Chez les enfants, le livre d'images (histoires sans paroles) précède le livre de lecture (paroles sans images). La combinaison de ces deux moyens d'expression est favorable à la clarté.

Comparaison entre deux langages

Un excellent exercice pédagogique consiste à passer de la description dictée d'une pièce (thème) à son dessin, ou à faire l'inverse (version). La comparaison en-

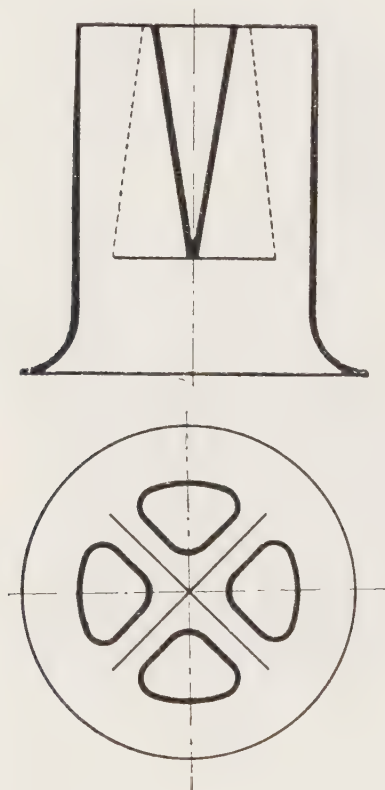


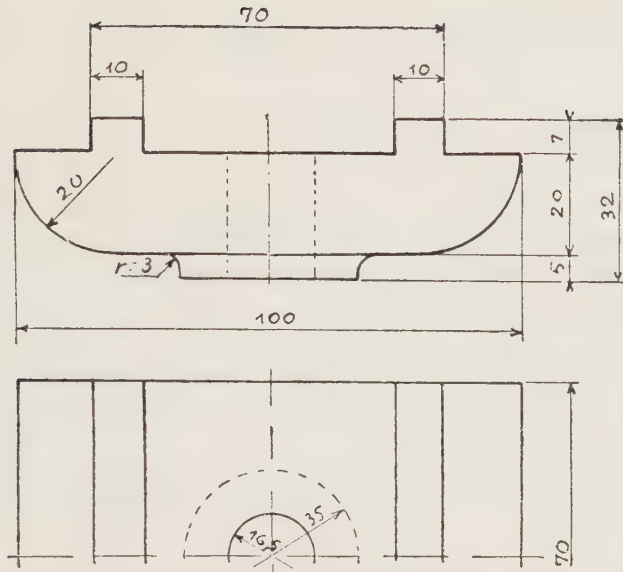
Fig. 20. — Tuyère d'échappement : projections orthogonales.



Fig. 21. — Tuyère d'échappement : croquis en perspective.

tre un thème et son corrigé (fig. 22) fait ressortir les avantages du dessin sur le texte : concision, synoptisation, précision¹. La description n'est pas aussi simple qu'elle le paraît à première vue. Car, si elle ne contient que des termes usuels, elle leur confère un sens symbolique nouveau. En technologie, des mots très ordinaires comme bosse, téton, ergot, gorge ont pris une acception conventionnelle. Pour des pièces compliquées, non seulement le thème est long, mais il est en argot de métier.

(1) Le texte et la figure 22 ont été empruntés à l'ouvrage *Cours de dessin industriel* de ROBERT Fontaine, Béranger édit. Paris 1944.



Plaque de serrage de contre-poupée de tour. — Cette plaque est constituée par un prisme rectangulaire, longueur 70, dont les bases ont 100 de largeur et 20 de hauteur et auquel sont ajoutés, faisant corps avec lui, les solides suivants :

1^o deux prismes rectangulaires identiques, longueur 70, dont les bases ont 10 de largeur et 7 de hauteur, qui font corps avec une grande face de la plaque par une de leurs grandes faces latérales; leurs plans longitudinaux de symétrie sont tous deux parallèles et à égale distance du plan longitudinal de symétrie de la plaque; leurs bases coïncident avec celles de la plaque; une distance de 50 mm sépare ces deux prismes, de façon que leurs petites faces latérales les plus éloignées l'une de l'autre soient à une distance de 70 mm;

2^o un bossage $\varnothing 35$, hauteur 5, faisant corps avec la grande face de la plaque opposée à celle qui comporte les deux prismes précédents; son axe passe par le centre de cette face; raccordé à celle-ci par un congé de 3 de rayon.

Un trou $\varnothing 16,5$ est percé suivant l'axe du bossage et traverse celui-ci et la plaque.

Les deux arêtes communes à la grande face comportant le bossage et aux petites faces latérales du grand prisme, seront abattues par des arrondis de 20 de rayon.

Solution : fig. 103.

Fig. 22. — Plaque de serrage de contre-poupée de tour.

DEUXIÈME PARTIE

LE SYMBOLISME DU DESSIN DE MACHINES

Réalité et symbolisme

Avant d'analyser les conventions du dessin, il est prudent de mettre le lecteur en état de défiance.

Heureuse époque en effet celle qui a précédé de peu notre entrée dans le monde ! Tranquille fin de siècle ! (au point de vue des idées). Période où les observations des physiciens collaient avec leurs principes ! Période où l'on pensait la mécanique universelle par figures et mouvements, données essentiellement intelligibles ; où l'économie politique avait un petit air limpide d'hydrostatique ; où les principes de morale internationale n'avaient pas encore reçu le choc fatal de deux guerres ; où enfin la jeune industrie s'imaginait, tout bonnement, que, le dessin « mécanique » ayant été créé pour représenter la machine, la machine était représentable par un dessin.

Pourquoi la curiosité d'inquiétants savants fit-elle craquer cette harmonie humaine ?

Les physiciens furent contraints d'avouer qu'un phénomène était un système d'équations différentielles, et les dessinateurs de reconnaître que la représentation de la machine exigeait un complexe de traits, de chiffres, de phrases,... et de signes cabalistiques. Que de difficultés, en particulier dans le domaine du dessin, résolues dès lors par ces deux mots magiques : par convention !

Commodité tentante ! Voie féconde, mais dangereuse ! Car l'expression de la réalité peut être sophistiquée à plaisir ; elle peut recevoir, sans en mourir, une forte dose de symbolisme : mais la réalité reste la réalité.

Cette distinction fondamentale entre la réalité et son expression conventionnelle est une question de sincérité et de courage. Oublier, par habitude, qu'un symbole, devenu familier, reste un symbole, est un danger fatal.

Étude critique des conventions normalisées

Toute la deuxième partie de cette étude est réservée au commentaire d'un texte consacré, qui constitue les tables du dessin de machines.

Il est formé par les feuilles du Comité de Normalisation de la Mécanique (C.N.M.) (1).

(1) Le carnet N° 1 de ces Normes, « Dessins techniques », est édité par le Comité Général d'Organisation des Industries Mécaniques — 11, Avenue Hoche Paris VIII.

Par définition, l'expression : dessin ancien, désigne celui qui se pratiquait avant la normalisation. C'était le seul connu jusqu'en 1920.

1. — Les projections.

Dispositions des projections

La première feuille relative au dessin éditée par le C.N.M. est la feuille 41.f₁. Elle se rapporte à la définition mathématique des projections.

La figure 2 donne une représentation concrète de cette définition. Le solide à dessiner ne possède aucun élément de symétrie, de façon à distinguer nettement le haut du bas, et la droite de la gauche ; il est supposé placé à l'intérieur d'un cube ; il est projeté orthogonalement sur chaque face, parallèlement aux arêtes adjacentes. Les projections ainsi obtenues sont ramenées dans le plan par un développement des six faces. Après cette opération, les faces occupent une position définie et la figure 1 indique les noms attribués à chaque projection.

Si deux projections, ou « vues », sont plus que suffisantes pour définir un solide, il est possible, pour plus de clarté, de donner six vues, c'est-à-dire quatre fois trop d'indications. D'autres vues nouvelles sont même quelquefois nécessaires : ce sont des projections orthogonales sur des plans obliques. Les besoins de la pratique diffèrent beaucoup des nécessités théoriques.

Trois vues, dans le dessin ancien, tiraient leurs noms de l'architecture et du portrait : le plan, l'élévation, le profil. Aujourd'hui, elles s'appellent respectivement : la vue de dessus, l'élévation, la vue de gauche. Cette nouvelle dénomination évite de nombreuses confusions : il suffit de remarquer que la vue de gauche se trouve à droite. Mais pourquoi dire encore élévation au lieu de « vue de devant » ? Sans doute par inertie mentale, et aussi pour marquer l'importance spéciale de l'élévation, vue privilégiée, vue principale.

Dessin de machines et géométrie

Quelques cours de dessin de machines consacrent la plus grande partie de leur enseignement à définir le tracé de certaines pièces. Une tête de bielle est un bon prétexte pour rechercher la courbe d'intersection d'un plan et d'une portion de tore ; un robinet fournit l'occasion de tracer la quadrique gauche, intersection d'un cylindre et d'un cône de révolution. Que penser des auteurs qui cherchent les projections obliques exactes des arêtes d'un écrou, lesquelles sont des intersections de plans et d'ellipsoïdes ? Cette figure, très fréquente dans les dessins de machines, a reçu une forme conventionnelle très facile à tracer.

Cette géométrie déguisée en dessin est éducative pour l'élève, elle n'est pas tout à fait étrangère à l'art de l'ingénieur, mais elle n'intéresse en rien le dessinateur.

Il suffit, pour lui, que la pièce à exécuter soit définie sans ambiguïté. Le problème de l'intersection d'un cône et d'un cylindre de révolution se résout en effet sans avoir à tracer leurs courbes d'intersection. L'ouvrier fixe sur le plateau

de la perceuse le cône plein qui vient du tour ; avec une mèche de diamètre approprié, il attaque la surface du cône, et achève de percer de part en part. C'est la mèche elle-même qui trace cette fameuse quadrique gauche. Le perceur fait de la haute géométrie sans le savoir. Toutefois, les traceurs en chaudronnerie, en tôlerie et en charpente sont des spécialistes qui utilisent fréquemment des tracés géométriques.

Différence entre dessin et descriptive

Un dessin diffère d'une épure par les points suivants :

La descriptive se contente de deux projections : verticale et horizontale ; à titre de constructions auxiliaires, elle utilise des profils. Le dessin de machines va jusqu'à six vues et même plus.

Les épure portent l'intersection des deux plans de projection, appelée ligne de terre ; le solide est coté, en général, par rapport à ces deux plans, pris comme plans de référence (cote et distance). La figure 2 montre la suppression, dans les dessins, des intersections des plans de projection : les charnières sont effacées, après avoir servi au développement des faces du cube ; la pièce est cotée par rapport à une de ses parties : en général, son plan de référence est la face posée sur le marbre pour le traçage. En architecture, les deux méthodes de cotation sont utilisées : pour un barrage, les cotes sont comptées à partir du niveau de la mer et, pour une maison, à partir du plancher du rez-de-chaussée.

Les épure laissent subsister les lignes de construction et, en particulier, les rabattements et les lignes de rappel, qui joignent les points en correspondance sur les deux projections. Dans le dessin, ces lignes sont supprimées : elles sont, soit tracées au crayon et gommées, soit omises lors du report de l'original sur calque ; l'édifice achevé, l'échafaudage est démoli.

Lecture d'une épure et d'un dessin

La suppression des traits auxiliaires rend l'aspect du dessin plus clair, moins touffu, mais elle le rend moins intelligible, au sens où l'entendent les mathématiciens. Pour eux, une épure est correcte dès lors que les règles ont été bien appliquées. Il suffit que la correspondance entre points soit vérifiable au moyen des lignes de rappel. Ceci peut se faire, pour ainsi parler, les yeux fermés.

Au contraire, le dessinateur de machines doit voir la pièce, car l'ingénieur qui l'a conçue est parti d'un problème concret, et l'ouvrier qui l'exécutera modèlera un morceau de matière.

La lecture d'un dessin de machines demande moins de logique abstraite, moins d'esprit de géométrie, que la lecture d'une épure. Elle exige en revanche une imagination d'une qualité particulière, capable de recréer mentalement des formes de bois ou de fer. Mettre en concordance, sans le secours des lignes de rappel, les différentes vues, fusionner jusqu'à six images juxtaposées, cela suppose une forte puissance de synthèse. La restitution de la pensée de l'auteur requiert de l'« esprit de mécanique ». Les connaissances de technologie sont d'un meilleur secours que l'application des règles.

Chaque pièce est rattachée à une famille de formes déjà connues : bielles, pistons, manivelles... Comme Cuvier remplaçait un os, d'après ses caractères, dans une série paléontologique, et l'attribuait sans erreur à un animal disparu depuis des millions d'années, de même le dessinateur fait de l'anatomie comparée.

On pourrait songer, pour aider à la reconstitution du relief, à utiliser le procédé appelé « anaglyphes », qui repose sur la synthèse oculaire de deux vues légèrement différentes et de couleurs contrastées, examinées simultanément au moyen d'un lorgnon sélectif bicolore. Cette méthode est employée en géométrie, en photographie stéréoscopique, dans le cinéma en relief (procédé Lumière). Elle n'est pas adoptée par les dessinateurs pour une raison déjà citée : si elle facilite, qualitativement, la lecture du dessin pour un profane, elle est de peu de secours pour un initié, et elle ne sert de rien pour la fabrication en atelier. Tout au plus pourrait-elle être utilisée, comme les perspectives et, à défaut de mieux, pour ses qualités pédagogiques.

Dessin de machines et cinématique

Le dessin de machines est merveilleusement adapté à la description des formes des pièces de machines.

Par contre, il paraît inapte à l'expression des fonctions remplies par ces pièces. Cela tient à plusieurs raisons.

Tout d'abord, le dessin de machines est encore peu éloigné du stade pictographique. De par ses origines, il préfère traduire des notions concrètes, plutôt que des abstractions.

De plus, le dessin est destiné essentiellement à guider la fabrication ; l'usage de la pièce échappe à l'ouvrier qui la façonne, il n'a aucun intérêt à le connaître.

Enfin, la forme suffit souvent à suggérer la fonction. Un piston évoque tout de suite le cylindre dans lequel il se meut ; la figure d'un piston, pour un mécanicien exercé, signifie sans ambiguïté : fonction capsulisme. Dans les dessins d'ensemble, la fonction se déduit des positions relatives des diverses pièces ; d'ailleurs, dans les groupes de traits normalisés, le « trait continu fin » est employé pour dessiner « les positions extrêmes des leviers, pistons... » (C.N.M. 42) ; il s'agit bien là de l'indication statique d'une variable cinématique ; l'amplitude du mouvement étant connue, il est souvent possible d'en déduire la loi du mouvement.

Néanmoins, il serait commode de disposer d'un système de symboles pour indiquer le rôle joué par chaque pièce dans les machines. Un culbuteur de soupape est évidemment un levier : la position du point d'appui peut être confondue facilement avec celle du point d'application, et il serait précieux de les distinguer. Très souvent, il est nécessaire d'indiquer le sens de rotation d'un arbre ; les auteurs emploient des signes pasigraphiques assez voisins : pour un arbre vu en bout, c'est un arc de cercle en forme de flèche indicatrice avec penne au bout renflé — il est impossible de le confondre avec un arc de cotation muni de flèches aux deux extrémités — ; pour un arbre en élévation, c'est une spire et demie d'une

hélice à grand pas, orientée au moyen d'une flèche et de pennes ; ces deux signes sont prêts pour la codification (fig. 23 et 24).



Fig. 23. — Arbre vu en bout.

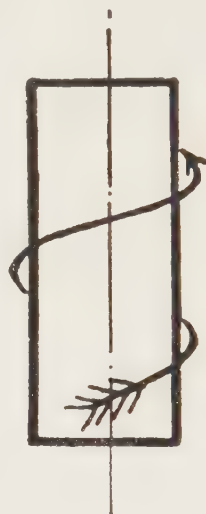


Fig. 24. — Arbre vu en élévation.

Notations symboliques des théoriciens de la cinématique

Pourtant, depuis plus d'un siècle, certains auteurs se sont proposé de forger une langue spéciale pour noter les fonctions cinématiques. Dans leurs tentatives d'établissements d'une représentation fonctionnelle, ils font abstraction de la morphologie. Leurs systèmes, s'ils sont donc étrangers, par certains côtés, au dessin de machines, en sont, par d'autres, le complément naturel.

Babbage fut leur précurseur, et il embrassa les deux aspects de la question. Il avait entrepris la construction d'une machine à calculer. Pour faciliter sa représentation, il décida de scinder en deux la difficulté, et de traduire à part la forme et la fonction. Il publia le premier résultat de ses recherches vers 1826 sous le titre *A method of expressing, by signs, the action of machinery* (Une méthode pour représenter, par des symboles, les mouvements d'une machine). Il reprit et généralisa son travail vers 1850. Il dressait un tableau à deux entrées où figuraient, horizontalement, une liste d'organes, et, verticalement, une liste des étapes successives du fonctionnement de la machine. Il marque dans les cases de ce tableau, par un ensemble codifié de signes, la liaison entre les organes. Il parvient donc à donner un graphique de l'enchaînement des fonctions qui tient aux liaisons organiques au cours d'un cycle complet de fonctionnement.

La méthode de Babbage ne fut adoptée, ni par les bureaux d'études, ni par l'enseignement officiel. Reuleaux lui-même ne rend pas justice à l'inventeur de ce précieux outil. Il reprit l'idée de Babbage pour l'appliquer aux mécanismes et machines.

Kœnigs reprit ce travail, dont le principe consiste à décomposer tout mécanisme en termes simples : couples, chaînes, modes de fixation... La notation de ces éléments ressemble à celle des symboles chimiques. En combinant les

propriétés intrinsèques de chaque terme simple avec les propriétés cinématiques imposées par le mode de liaison, on déduit le fonctionnement de toute forme de pièce.

Notation symbolique de Reuleaux (d'après Nicaise)

Deux pièces assujetties à rester en contact constituent un *couple* d'éléments. Les symboles pour les couples sont les suivants :

Premier degré	}	Couple de révolution	C
		Couple prismatique	P
		Couple hélicoïdal	H
Deuxième degré	}	Couple cylindrique	Cy
		Couple plan	Pl
		Couple sphérique	S

Si l'on réunit un élément de couple à un élément d'un autre couple, et ainsi de suite, on constitue une *chaîne* de couples. Les chaînes sont dites ouvertes ou fermées selon que le dernier élément reste libre ou que l'on réunit le deuxième élément du dernier couple au premier élément du premier couple.

Le signe + indique que la surface est en relief, le signe — qu'elle est en creux, le signe = indique l'emboîtement.

Par exemple, C^+ est l'élément positif d'un couple de révolution, c'est un arbre de machine ; C^- est le coussinet.

Dans la formation d'une chaîne, les éléments caractéristiques des couples successifs occupent certaines positions relatives :

le signe		signifie parallèle,
le signe		signifie co-axial,
le signe	^	signifie concourant,
le signe	⊥	signifie perpendiculaire,
le signe	<	signifie oblique.

Par exemple, $C \parallel_2$ représente une chaîne ouverte composée de deux couples de révolution à axes parallèles. Mais nous ne savons s'il s'agit d'un train d'engrenages à denture droite, ou de roues de friction, ou de tout autre chose.

La parenthèse indique que la chaîne est fermée. En dehors de la parenthèse, on rappellera respectivement par trois lettres quels sont les membres fixe, conducteur ou conduit.

Par exemple, $(C \parallel_3 P \perp) \frac{d/a}{c}$ signifiera :

chaîne formée de trois couples de révolution parallèles et d'un couple prismatique de direction perpendiculaire, fixé par le membre d, mis en mouvement par a, le membre conduit étant c (Fig. 25).

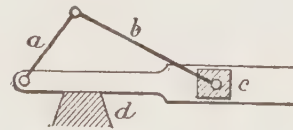


Fig. 25.—
Manivelle à coulisse rectiligne.

La tente mécanique est représentée par la formule. $(C \parallel_3 P \perp) \frac{c/a}{d}$ (Fig. 26).

et la potence articulée par la formule $(C \parallel_3 P \perp) \frac{d/c}{a}$ (Fig. 27).

Utilité de ces représentations

L'utilité de cette notation est discutable. Elle est discutée même par les « cinématiciens » pour qui elle a été faite. Sans doute, elle facilite le langage pour la représentation des chaînes fonda-

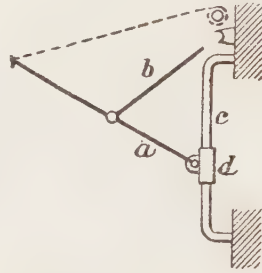


Fig. 26.—Tente mécanique.

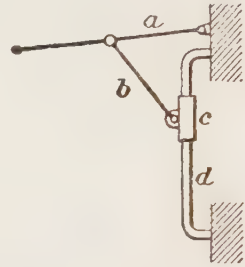


Fig. 27.—Potence articulée.

mentales ; mais elle est difficilement applicable dès que le mécanisme se complique. Aussi, peu d'ouvrages, même parmi les plus récents, utilisent cette notation.

Un croquis du mécanisme, traité de façon très schématique, est beaucoup

plus parlant. Grâce à l'emploi des conventions normalisées, son tracé n'est guère plus long que l'inscription de la formule. Par contre, nous formons le vœu que les auteurs d'ouvrages de cinématique se conforment, pour leurs figures et schémas, aux conventions normalisées. Clarté et lisibilité y gagneraient. On sait que, par ailleurs, les chorégraphes utilisent une cinquantaine de symboles capables d'exprimer un grand nombre de mouvements et de figures de danses (fig. 28).

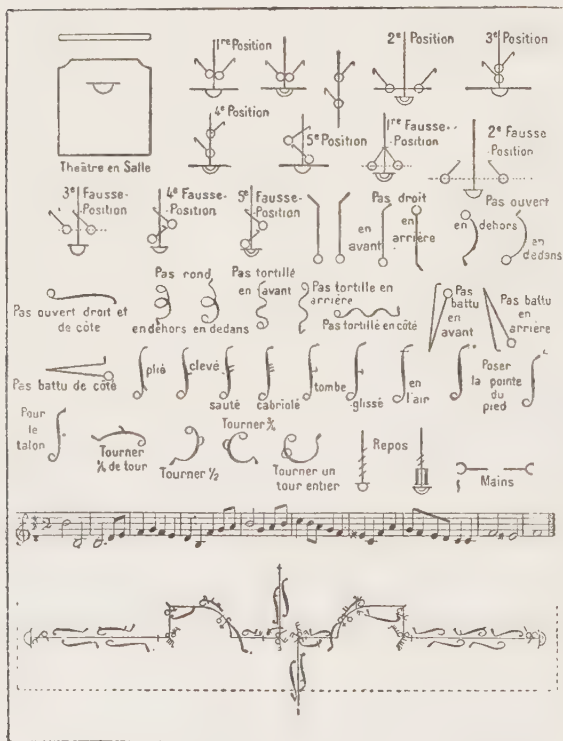


Fig. 28. — Spécimen d'écriture chorégraphique.

les voisins des précédents. Elles s'en distinguent toutefois nettement par leur nature.

En effet, elles concernent des éléments simples (boulons, rivets, soudures, filetages...), normalisés dans leurs proportions, et qu'une notation abrégée suffit à caractériser morphologiquement d'une façon complète.

Différences entre deux domaines voisins

Les représentations conventionnelles employées pour le dessin de machines, étudiées plus loin, utilisent parfois des symbo-

Au contraire, les systèmes de Babbage et Reuleaux doivent être rapprochés des « représentations schématiques et symboliques des installations électriques », étudiées page 60, figure 72, car il s'agit bien, dans ces figures, codifiées par la Société Française des Electriciens, d'exprimer des fonctions électriques (dynamo, alternateur, redresseur..., interrupteur, disjoncteur, commutateur...), à l'exclusion de toute préoccupation morphologique ou constructive. Ces symboles sont au moins dix fois plus nombreux que ceux des cinématiciens. D'une part, le nombre des fonctions électriques est plus grand que celui des fonctions mécaniques. D'autre part, les fonctions électriques n'ont pas été ramenées au même degré de simplicité : piles, condensateurs, accumulateurs ont même fonction, et possèdent des schémas différents, bien connus des amateurs de T.S.F.

2. — Les coupes et sections.

Le dessin d'architecture avait montré l'insuffisance des vues extérieures d'un monument. Si le profane s'en contente, le maître d'œuvre, lui, doit connaître les épaisseurs. La stabilité du monument pose des problèmes dont la solution se trouve à l'intérieur de la matière. Pour en donner une figuration, on imagina des coupes arbitraires, gigantesques coups de sabre en travers des temples, des cathédrales, des forteresses. C'était la sciographie.

Sous le nom moins savant de coupes et sections, le dessin de machines reprit l'usage de ce précieux procédé.

La feuille C.N.M. 41. f_1 , — figures 4 et 5 et le commentaire — définit les deux termes de coupes et sections, quasi synonymes dans le langage vulgaire, mais nettement différenciés dans le langage conventionnel des dessinateurs.

Par rapport aux vues principales, la position des coupes et sections est la même que pour une projection correspondante. Dans le cas où il n'est pas possible de placer ces nouvelles vues à leur place normale, pour des raisons d'encombrement par exemple, coupes et sections peuvent être placées ailleurs à condition d'indiquer, au moyen d'une flèche, la place et le sens prescrits. Comme l'emploi de cette flèche est récent, et que son usage n'est pas encore familier, une indication écrite explicative doit être provisoirement employée : « Vue suivant flèche ». Les sections rabattues, à défaut d'autres explications, correspondent à la vue de gauche.

La feuille C.N.M. 41. f_2 — figures 6 et 7 — définit les rabattements sur place des sections et les axes des projections obliques. Il n'y a pas lieu de commenter ces normes parfaitement claires.

3. — Les échelles.

Dans les dessins anciens, l'échelle était le rapport de deux nombres concrets :

elle s'exprimait, par exemple, en centimètres par mètre, elle était matérialisée par une ligne graduée dans l'unité adoptée.

Dans le dessin normalisé, l'échelle est un simple rapport arithmétique ($1/2$, 10 , $1/1$), un nombre abstrait.

L'échelle ne modifie pas la machine, qui reste elle-même, mais sa figure, qui devient plus ou moins grande. L'échelle s'applique donc seulement aux longueurs des traits du dessin, mais non aux valeurs des cotes. En effet, la similitude mécanique n'est pas une similitude géométrique.

Les échelles normalisées appartiennent aux séries dont les termes successifs sont : 10^n , 2×10^n , 5×10^n , où n a des valeurs entières. Si ces valeurs sont positives, elles donnent un agrandissement, et si elles sont négatives, une réduction.

Outre le double-décimètre ordinaire, une réglette munie de deux graduations, l'une en demi-millimètres, l'autre en double millimètres, permet de résoudre tous les problèmes de changements d'échelles, puisqu'elle permet de lire directement toutes les cotes, réduites à une échelle quelconque, à une puissance de 10 près. A défaut de cette réglette, le dessinateur n'a d'autres opérations à effectuer que la multiplication ou la division par 2. Ce sont des opérations simples, et faciles à résoudre mentalement.

Une économie de temps, la suppression des risques d'erreurs, une moins grande fatigue mentale, telles sont les raisons qui ont motivé la suppression des valeurs quelquefois baroques autrefois attribuées aux échelles, telles que : $3/4$, $1/3$, $2/5$, $3/5$, $2/3$, $1/4$...

En France, les feuilles de la carte d'Etat-Major étaient établies au $1/80.000$. Les topographes utilisent volontiers l'échelle $1/250$. Pour des mécaniciens, ces échelles ne sont pas normales.

Avantages de l'emploi des échelles

Par un choix judicieux de l'échelle, le dessin d'une machine peut être ramené à une grandeur raisonnable.

Qu'est-ce, au juste, qu'une grandeur raisonnable ?

C'est, dirait Pascal, une grandeur moyenne, située entre deux extrêmes. C'est une grandeur à la taille de l'homme et proportionnée à ses sens. C'est la grandeur d'une surface qui, placée à une distance de l'œil d'une quarantaine de centimètres (punctum optimum), peut être facilement explorée. Cette surface, égale à neuf fois celle découpée par l'angle solide du champ, couvre environ le format grand-aigle, soit $750 \times 1.100 \text{ mm}^2$, format classique, et qui peut être entièrement décrit par la main droite. Le trait le plus long que le bras peut tracer sans reprise est de 1,10 m. On peut le tracer en penchant le buste sans bouger les pieds, donc assis. Les tables à dessin modernes, munies de règles perfectionnées, adoptent couramment le format $75 \times 110 \text{ cm}^2$. Certains dispositifs permettent d'ajuster la hauteur de ces tables et de modifier leur orientation. Elles sont dites alors automatiques, et permettent d'atteindre $100 \times 125 \text{ cm}^2$, exceptionnellement $100 \times 150 \text{ cm}^2$.

C'est dans ce cadre imposé que doit rentrer toute machine, montre ou pont transbordeur.

Il existe pourtant des dessins plus longs que 1,50 m : profils en long de routes, d'implantation des pylônes d'une ligne à haute tension... Ces dessins sont formés de plans indépendants, tracés successivement, et collés bout à bout.

Synoptisation, économie de temps et de papier, sont les raisons qui commandent l'emploi d'échelles de réduction.

Synoptisation et économie de temps, sinon de papier, justifient l'emploi d'échelles plus grandes que l'unité.

Des détails trop fins fatiguent l'œil et peuvent même tomber au-dessous de son pouvoir séparateur. L'épaisseur des traits prend trop d'importance par rapport à la largeur des pièces. Quant au temps nécessaire au tracé d'un trait, il n'est pas proportionnel à sa grandeur ; au-dessous de quelques millimètres, il lui serait plutôt inversement proportionnel. Il en est de même pour les petits cercles qui, au-dessous d'un certain diamètre, exigent l'emploi d'un compas spécial, le ballustre.

Mais les avantages d'ordre pratique sont compensés par des inconvénients théoriques.

Inconvénients de l'emploi des échelles

Pour bien comprendre le danger de certaines illusions d'optique, il faut d'abord étudier les effets d'un changement d'échelle, non dans les dessins, mais dans les objets.

Voici deux exemples simples empruntés à Armand de Grammont (*Les problèmes de la vision*).

« Une allumette de 5 cm de long et de 2 mm de côté est rigide. Si ses dimensions sont multipliées par 100, nous aurons une poutre de 5 m et dont la section aurait 20 cm de côté : cette poutre, soutenue par son milieu, fléchit sous son propre poids.

Si l'on double toutes les dimensions d'une colonne, sa section, c'est-à-dire sa valeur de soutènement, augmente comme le carré de ses dimensions, et devient, par suite, quatre fois plus grande. Mais en même temps, puisque l'échelle du monument est doublée, les masses que devront soutenir la colonne vont varier comme le cube de leurs dimensions : elles seront huit fois plus considérables. Il est donc impossible de passer d'une construction à une autre par voie d'agrandissement, comme on le ferait d'un cliché photographique. Cette loi si simple a été par malheur trop souvent méconnue. Que de monuments n'a-t-on pas vus ainsi malmenés, depuis la Maison Carrée de Nîmes jusqu'au Palais de la Légion d'Honneur ? En changeant leur échelle, on les a déformés. »

L'emploi des échelles dans les dessins accumule deux erreurs.

La première est celle qui vient d'être décrite ci-dessus pour les objets. Si les longueurs du dessin sont multipliées par n , les sections et la grandeur des figures sont multipliées par n^2 , l'impression de poids et de volume par n^3 environ.

La deuxième, déjà signalée à propos de la visualisation, vient de l'absence,

sur le dessin, de cette troisième dimension qu'on ne se représente jamais qu'imparfaitement. Le poids d'une pièce est plus grand que son dessin ne l'avait fait prévoir. Ce défaut se trouve amplifié, et en quelque sorte multiplié par la valeur de l'échelle. Le bureau d'études livre-t-il un dessin au $1/10$ à l'atelier, il en sort un mastodonte inattendu ? C'est l'inverse si le projet est à l'échelle 10 : l'objet « sort » trop grêle.

Un phénomène inverse se produit lors du passage de l'objet à son dessin. Des organes familiers, dessinés à l'échelle $1/1$, paraissent maigres ; à l'échelle $1/10$, ils paraissent étiqués, et une locomotive devient une pièce d'horlogerie ; à l'échelle 10, ce sont des monstres.

Il faut remarquer que ces deux défauts s'ajoutent pour des réductions, et se compensent en partie pour des amplifications, de sorte qu'il est plus délicat de dessiner à l'échelle $1/10$ qu'à l'échelle 10.

La comparaison entre deux dessins à échelles différentes est une opération quasi impossible, même si ces dessins représentent de simples surfaces. La Russie est habituellement dessinée dans les atlas à une échelle plus petite que l'Italie : malgré la présence des échelles, on pense vaguement que les superficies sont, comme les cartes, du même ordre de grandeur.

On se représente mal la petitesse d'un microbe dessiné à l'échelle 1.000, même en faisant appel au raisonnement, qui suggère de réduire la surface un million de fois, et l'impression de volume, de près d'un milliard.

Les normes recommandent judicieusement d'éviter l'emploi d'échelles voisines de 1, telles que $1/2$ ou 2, si utilisées pourtant dans les écoles, pour des motifs de mise en pages. Dans les bureaux d'études, aucune raison impérieuse ne justifie ces échelles quasi unitaires. L'absence de tout calcul pour le tracé et la sécurité dans la lecture imposent l'échelle $1/1$. Si elle minore un peu « l'impression de poids », elle respecte les sections. Or, de nombreux problèmes de mécanique dépendent des sections, en particulier ceux de résistance (conditions d'équarrissage, moments d'inertie). Les questions de technologie se lisent assez bien sur le dessin « grandeur », ce qui, dans l'argot des bureaux d'études, veut dire : grandeur nature. Par exemple, l'étude d'objets minces en fonte (radiateurs de chauffage central) soulève des difficultés spéciales de coulabilité, d'économie de matière, de centrage des noyaux, impossibles à trancher, à vue, sur un dessin d'échelle $1/2$. L'effort des constructeurs de matériel de dessin, au cours de ces dernières années, s'est porté sur la réalisation d'appareils permettant d'exécuter facilement de grands dessins, donc de supprimer souvent l'échelle $1/2$.

Il faut encore signaler un phénomène accidentel qui produit des erreurs de même nature que celles du changement d'échelles : c'est l'effet perturbateur produit par le port de verres correcteurs. Grâce aux lunettes ordinaires, les images rétinienne sont corrigées : nous voyons net de loin et de près. Mais les angles sous lesquels nous voyons nettement les différents points du champ sont changés : le verre correcteur rapetisse ou agrandit les images, selon qu'on est myope ou hypermétrope. Un dessinateur hypermétrope, obligé de porter des lunettes de presbyte,

dessinera des figures représentant des pièces trop grêles ; par exemple, il tracera un arbre de Φ 95 en croyant lui donner la valeur 100. L'effet inverse jouera pour un myope. Pour que le verre correcteur ne modifie pas les dimensions de l'objet, il faudrait qu'il ne fut pas en avant de l'œil, mais sur l'œil ; on obtient ce résultat avec les verres de contact.

Il est paradoxal de constater que les défauts de l'œil, non corrigés, ne provoquent aucune déformation des dessins. En effet, les aberrations à la perception et à la reproduction se compensent. Par exemple, un astigmatisme verra un carré comme un rectangle ; il le dessinera sous forme d'une figure qui sera un rectangle pour lui, mais en vérité un carré.

Conclusion : l'étude d'une machine, « à vue », est toujours délicate et quelquefois pleine d'embûches. Le « projeteur » doit, malgré son expérience, s'appuyer, quand c'est possible, sur le calcul.

Quand faut-il rendre le plan anisotrope ?

En général, dans les projections orthogonales, l'échelle s'applique à toutes les lignes de la figure, correspondant à toutes les dimensions de l'espace.

Toutefois, pour certaines épures, une anamorphose est commode.

Cela revient à adopter deux échelles différentes suivant deux directions du plan, le plus souvent deux directions perpendiculaires.

Ainsi, dans les profils en long, les hauteurs sont exagérées dix ou cent fois par rapport aux longueurs. Pour le problème de l'inscription des locomotives dans les courbes, la voie circulaire est anamorphosée en ellipse, et une longueur de voie de 30 mètres tient dans les limites de l'épure ; les flèches conservent leur vraie grandeur, et le jeu des essieux se lit directement.

Mais ceci est de la descriptive et le dessin normalisé ne prévoit pas l'emploi de plusieurs échelles sur un même plan.

Le dessin technique n'utilise ce procédé que très exceptionnellement, dans les perspectives conventionnelles (cavalière ou axonométrique). Dans ces modes de représentation, les longueurs de l'objet sont affectées de deux coefficients : le premier, qui s'applique à toutes, est la valeur de l'échelle, et le deuxième, qui s'applique à quelques unes seulement, les fuyantes, est le rapport de réduction R . Ce rapport R n'a pas la même valeur suivant les directions, et, dans certaines perspectives, il prend trois valeurs différentes. Dans le but de reproduire la configuration de la perspective vraie, certains dessins font appel à quatre paramètres. Une telle complication est contraire à l'esprit du dessin de machines.

4. — Les traits.

Les conventions au sujet des traits sont essentielles, car ce sont les traits qui donnent au dessin sa figure.

La feuille C.N.M. 42 définit les cinq sortes de traits d'un groupe homogène. Elle contient une forte dose de symbolisme.

Le dessin ancien connaissait aussi cinq sortes de traits :

- *le trait continu fort*
pour les arêtes séparant une plage éclairée d'une plage obscure.
- *le trait continu fin*
pour les autres arêtes et les hachures.
- *le trait pointillé* — véritable chapelet de points ronds et serrés —
pour les parties cachées.
- *le trait interrompu court* — tirets —
pour les lignes de cotes et de rappel.
- *le trait mixte court*
pour les axes.

Le dessin normalisé utilise quatre des traits précédents, auxquels il confère un sens neuf. Le pointillé est tombé en désuétude ; par contre, deux nouveaux venus font leur apparition : le mixte fort, d'usage courant, et l'interrompu fin, « considéré comme réservé à des représentations conventionnelles » ; sa définition est renvoyée à la feuille C.N.M. 46.

Les traits actuels sont :

- *continu fort* :
contours vus.
- *interrompu court moyen* :
contours cachés.
- *continu fin* :
lignes de cotes et de rappel,
constructions géométriques,
indications de pièces voisines,
positions extrêmes de leviers...,
sections transversales, rabattues,
brisures à main levée.
- *mixte fin* :
limitations de projections partielles,
indication de pièces situées en avant,
axes et plans de symétrie.
- *mixte fort* :
traces des plans de coupe ou de section.

Il conviendrait d'y ajouter le trait interrompu fin, qui sera étudié avec la représentation simplifiée des filetages.

La nouvelle notation a évolué dans le sens de la commodité : substitution des tirets aux points, des traits continus aux tirets. L'élan du tire-ligne n'est pas aussi fréquemment interrompu, d'où gain de temps. Toutefois, ce passage général de la pictographie à l'idéographie n'a pas dû se faire sans résistance : les courbes gauches couvertes de hachures qui limitent le bout des pièces arbitrairement interrompues avaient été prohibées par les normes de 1929. Les normes de janvier 1940 en rétablissent, ou, du moins, en tolèrent, l'usage. Même solution pour les

sections partielles, représentées par une courbe irrégulière tracée à la main, imitant un arrachement, une déchirure. Si ces notations sont de nouveau autorisées, c'est qu'elles sont très « parlantes » à l'œil.

Le paradoxe du trait fort

Dans un même dessin, les traits de même nature ont partout la même épaisseur.

Or, le trait fort exprime, soit le *contour* d'une pièce, c'est alors un trait simple, soit la *limite* entre deux pièces, et, en ce cas, il tient lieu de deux contours juxtaposés et devrait être doublé.

Même s'il sépare deux pièces, montées avec un jeu assez important (organes coulissants) et si, par conséquent, il remplace deux contours distincts, le trait garde l'épaisseur normale ; il reste simple. Toutefois, certains auteurs (Bouasse, *Cours de Physique*) renforcent, dans leurs figures, ces traits doubles.

Pour la facilité du tracé, le dessin renonce à la vérité et adopte les conventions de la géométrie. Dans les figures de cette science théorique, les lignes sont sans épaisseur par hypothèse, même si elles représentent deux chemins parcourus en sens inverse, comme dans le cas d'aires contiguës de signes opposés. Toute ligne est à volonté simple ou double.

Dans le dessin de machines, une première convention, nettement exprimée, fixe l'épaisseur positive du trait fort à une valeur de l'ordre du millimètre. Une deuxième convention, sous-entendue, suppose que $2e = e$, ce qui ne peut avoir lieu que pour $e = 0$. Curieux compromis entre les spéculations de la géométrie et les exigences du tire-ligne !

Assez souvent, l'emploi de hachures permet de distinguer entre rôle de *contour* et rôle de *frontière* du trait fort.

Abandon du trait de force

Pour des raisons analogues de simplicité, le dessin moderne a renoncé à la distinction entre trait continu fort et trait continu fin pour les arêtes de la pièce. Il recommande d'en réserver l'usage à des cas très spéciaux (effets décoratifs par exemple).

Pourtant, l'usage du trait de force était doublement commode : il flattait l'œil et facilitait la lecture.

Ces avantages se payaient assez cher. L'effort de discernement entre ces deux sortes de traits devait être fait d'avance. Quant aux difficultés du tracé à l'encre, elles étaient multiples. La première tenait au réglage plus fréquent du tire-ligne, la deuxième, au passage progressif du trait de force au trait fin. Cette transition subtile portait le nom légendaire de raccordement. Une telle opération demandait une virtuosité rare. Le traité de dessin de Morisse consacre trois pages à l'étude du tour de main nécessaire à l'exécution d'un cercle avec partie fine et partie forte fondues.

La suppression du trait de force marque toutefois un appauvrissement du symbolisme. Dans la figure 29, l'absence du trait de force à droite signifie

cylindre ; dans la figure 30, la présence de ce trait signifie : prisme. L'épaisseur d'un seul trait permettait l'économie d'une vue supplémentaire.

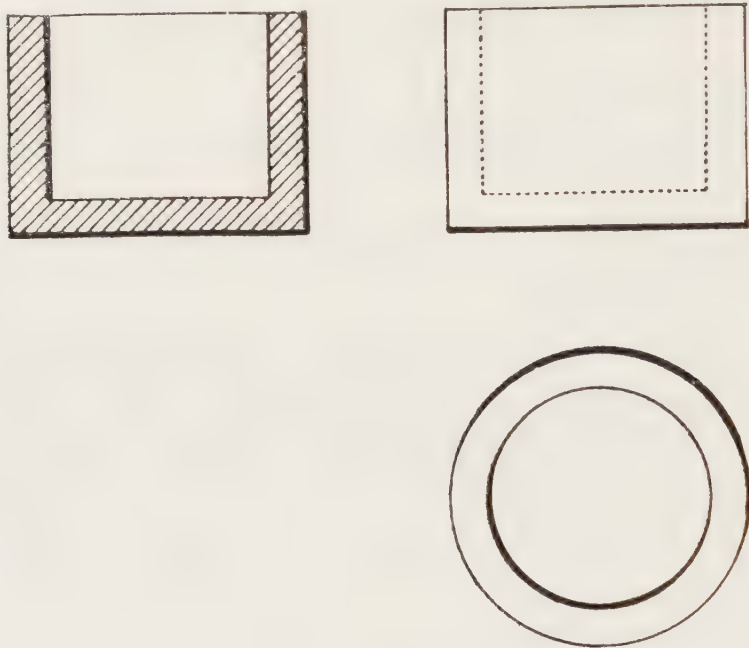


Fig. 29. — Cylindre.

Ce caractère pictographique attardé dérivait évidemment du dessin ordinaire qui, utilisant une seule vue, n'a guère d'autre ressource pour souligner le relief. Dans

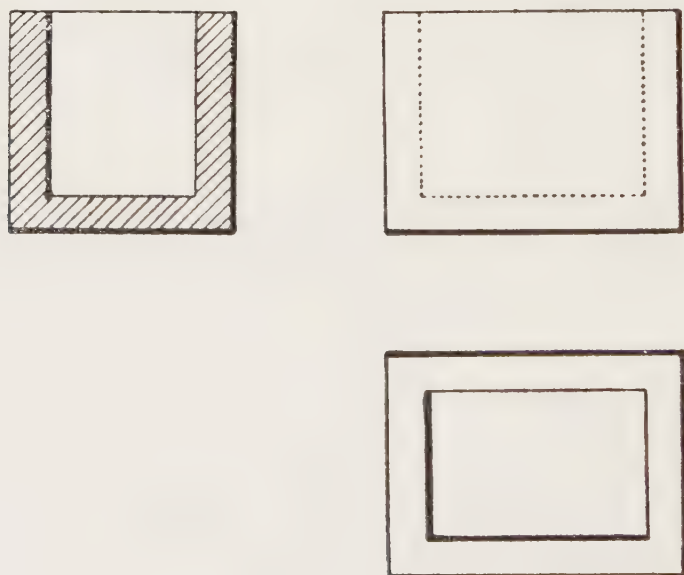


Fig. 30. — Prisme.

les cavernes des Eyzies, les rennes ou les bisons sont cernés de traits fins ou forts, selon les indications que l'artiste a voulu donner relativement à la troisième dimension.

Une curieuse illusion d'optique, appelée inversion du relief, peut transformer le creux en plein, et inversement : un écrou devient une vis (figure 31). Le cratère d'un cirque lunaire peut devenir une sorte de plateau (voir *Le mystère des nombres et des formes*, de Marcel Boll).

Pour éviter cette erreur d'interprétation, le sens de la lumière doit être fixé par une convention rigoureuse.

Puissance des symboles

Quelle admirable invention, le symbolisme des traits ! Par lui, le dessin de machines, comme certaines écoles de peinture, suggère plus qu'il ne dit. Par lui, il concentre son expression à la façon de Picasso, de Mallarmé, de Verlaine.

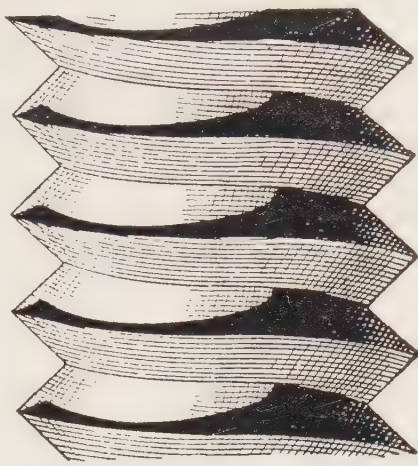


Fig. 31. — Ecrou ou vis ?



Fig. 32.— Un simple rectangle.



Fig. 33.— Un cylindre.

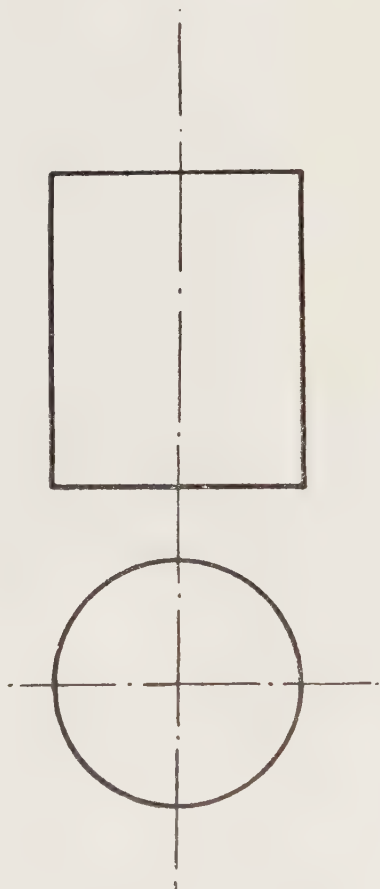


Fig. 34.— Vue en plan d'un cylindre.

Seuls sont de vrais symboles les symboles peu connus, trop nouveaux : un symbole familier est une règle. A l'origine de la grammaire, le *s* à la fin d'un mot était le symbole du pluriel. Avec l'habitude, le *s* est devenu la règle du pluriel.

Le rectangle de la figure 32 est une surface plate. Traçons une médiatrice en trait mixte fin (fig. 33) ; ce trait symbolise un seul axe, donc un axe de révolution : le rectangle est devenu cylindre. Dès lors, il a une troisième dimension, il est rond, en relief. Toute opération destinée à pousser la ressemblance est superflue. A quoi serviraient sa vue en plan (fig. 34), sa perspective vraie (fig. 35), conventionnelle (fig. 36), le tracé d'ombres au trait (fig. 37) ou au lavis (fig. 38) ? Rien n'est plus vrai, pour un initié, que le cylindre de la figure 33.

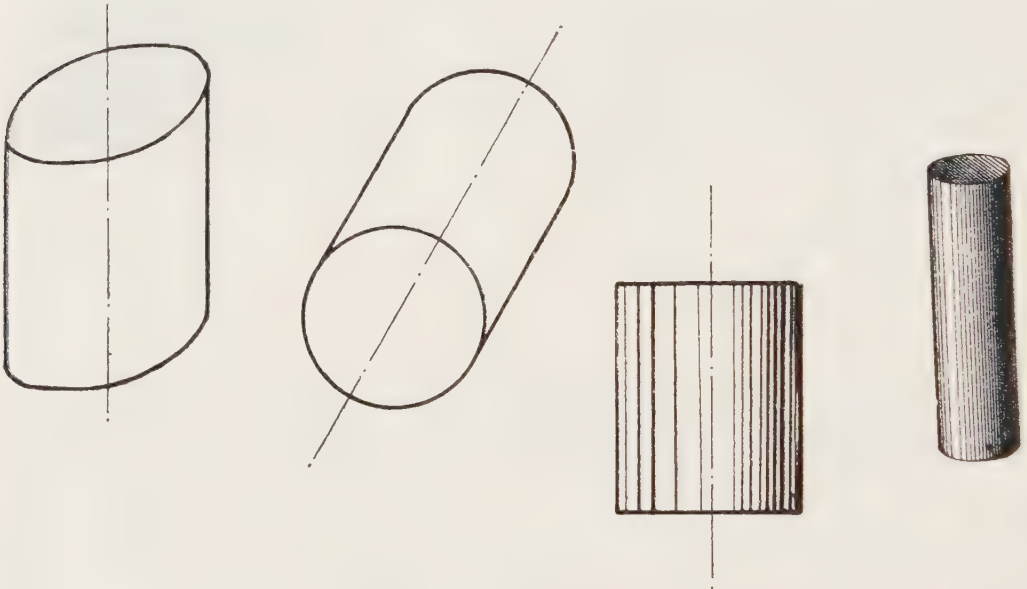


Fig. 35 à 38. — Vues diverses d'un cylindre.

Cette transformation magique, d'un coup de tire-ligne, change un rectangle en cylindre. Ce n'est pas un miracle. Pouvez-vous imaginer le son *o* autrement que sous la forme d'un petit rond, et le son *i*, sous celle d'une petite barre ? Accolez ces deux symboles, un troisième jaillit, que vous ne pourrez imaginer, dans l'état de votre éducation, autrement que le son *a*.

5. — Les hachures.

Teintes dans l'architecture

Les procédés sciographiques donnaient plus de clarté aux dessins d'architecture. Le dessin de machines les adopta après leur avoir fait subir de nombreuses transformations.

Il était naturel, pour les architectes, de peindre les coupes dans la couleur exacte du matériau employé : les briques en rouge, le granit en rose, le grès en jaune... Une coupe d'architecture se « léchait » comme une aquarelle.

De nos jours, les architectes conservent cet usage, avec une tendance à substituer les teintes conventionnelles (rose pour les coupes) aux teintes vraies : les matériaux sont trop nombreux, et leurs propriétés mécaniques plus importantes que leurs couleurs.

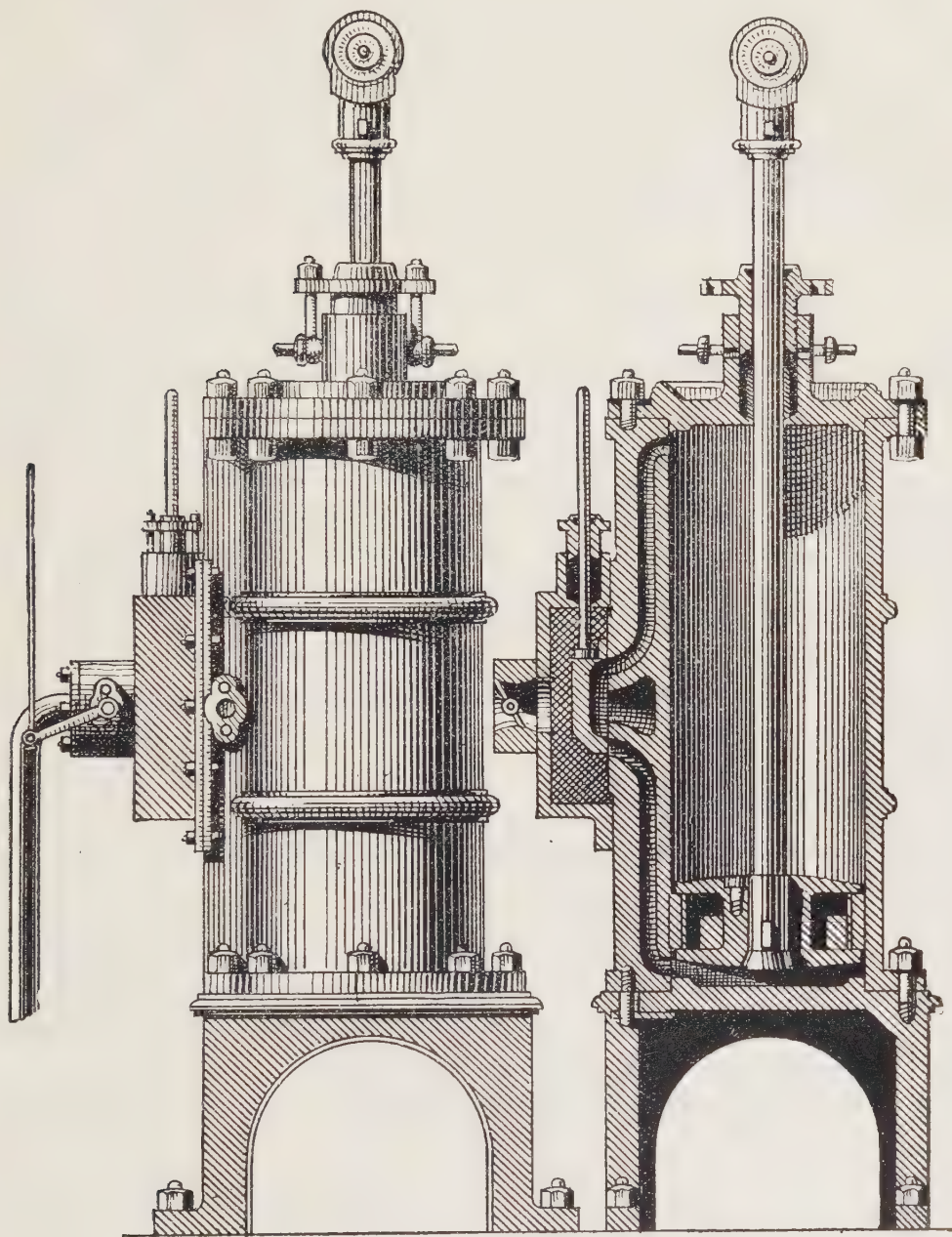


Fig. 39. — Un dessin de machines, il y a cent ans.

Teintes dans le dessin de machines

Il y a deux générations, un ingénieur-mécanicien recevait d'abord une formation d'architecte. Consultons l'ouvrage de feu Robinet Aîné, Ingénieur civil, édité

en 1859. Son titre est : *Cours de Lavis appliqué à l'enseignement du Dessin d'Architecture et de Machines*, destiné aux élèves qui désirent être admis aux Ecoles Polytechnique, de la Marine, des Mines et à l'Ecole Centrale des Arts et Manufactures. Nous lisons dans l'introduction : « Les cinq ordres de l'architecture, avec les détails de chaque élément qui en composent l'ensemble, constituent les 35 premières planches. L'architecture ainsi complétée précède les modèles d'agents de machines qui entrent dans leur composition, comme excentriques, vis, engrenages, paliers et détails de machines à vapeur. Ces modèles sont au nombre de 15 ».

A cette époque, la construction d'une machine ressemblait à celle d'un bâtiment. Le travail en série n'existait pas ; les machines étaient étudiées une à une pour répondre à un besoin spécial ; le plan original avait un caractère individuel et le problème de sa multiplication ne se posait pas (fig. 39).

A l'exemple de son aîné, le dessin de machines teintait les coupes : le cuivre, orangé ; le laiton, jaune ; la fonte, gris-bleu ; l'acier, bleu pâle... Un traité de dessin, vieux de vingt ans, décrit le dosage savant de teintes élémentaires pour reproduire les nuances exactes ; l'une de ces teintes portait le nom énigmatique de teinte neutre.

La palette du dessinateur s'enrichit avec la multiplication des matériaux industriels. On vendit de jolies boîtes de couleurs où s'alignaient jusqu'à quarante tablettes, chacune étant désignée par le nom d'un matériau.

Ainsi, certains organismes se compliquent peu à peu pour satisfaire à des fonctions nouvelles. Cet appareil trop complexe ne peut suivre le train : il décroche par un brusque mouvement de relaxation, et se simplifie soudain.

Tandis que l'industrie lançait cinq cents nuances d'acier et deux cents alliages d'aluminium, les conventions relatives aux coupes se ramenaient à moins de dix. Il est vrai qu'elles se firent alors aider par le langage ordinaire.

Du continu au discontinu

La construction en série posa accessoirement le problème de la multiplication des plans.

Les procédés photographiques furent simplifiés dans ce but, et celui qui se révéla le plus simple fut le clichage direct du dessin tracé sur calque transparent sur un papier sensible bon marché. Ce procédé permettait le tirage à l'échelle 1/1, sans autre instrument d'optique qu'un châssis, c'est-à-dire d'une vitre contre laquelle calque et papier sensible se trouvaient pressés.

Il ne fut même pas question d'utiliser la photo en couleur pour reproduire les teintes originales. Même les teintes modelées du lavis « ne passaient pas » par ce procédé.

Pour reporter des clichés au moyen de l'imprimerie, on fut amené à décomposer ceux-ci en éléments assez petits pour redonner, à une distance suffisante, l'impression du continu : c'est la trame des clichés.

Le calque du dessin adopta ce procédé, mais la notion de continuité n'était pas nécessaire ; une sorte de trame à gros intervalle fut choisie : ce fut l'origine des hachures.

Le cliché typographique et le dessin de machines visent des buts contraires : le premier, un effet de continuité, le deuxième, de discontinuité. Ils évoluèrent dans deux sens opposés : le premier rechercha des trames de plus en plus fines, et le deuxième, des traits de plus en plus rares. La règle d'emploi des hachures est leur utilisation à l'écartement maximum. L'examen à distance d'un cliché tramé donne un meilleur modèle. Un dessin de machines est illisible si les hachures sont trop serrées ou si on l'examine de trop loin, de sorte que l'intervalle entre deux traits soit au-dessous du pouvoir séparateur de l'œil.

La reproduction d'un dessin de machines original exige un intermédiaire, copie directe faite par superposition d'un papier transparent. Ce cycle indirect : original, calque, tirage, rappelle les phases reproductrices d'un grand nombre d'êtres vivants.

Évolution des hachures

Ces traits discontinus, qui se substituèrent aux teintes fondues, furent appelés hachures, mot qui rappelle la trace de la hache sur le tronc qu'elle a coupé. Toutefois, le mot « sciure » eût été meilleur, parce que ces parallèles évoquent la morsure des dents d'une scie.

De toute façon, l'emploi des hachures est réservé aux coupes et sections, bien que les feuilles de normalisation soient muettes sur leurs cas d'emploi. Elles indiquent seulement que les hachures ne sont pas obligatoires et qu'elles peuvent être supprimées si elles ne facilitent pas la compréhension.

Comme pour les teintes, une tentative d'adaptation fut essayée : à chaque matériau fut affecté un système de hachures. Avec un nombre restreint de matériaux, il fut aisé de créer des systèmes en nombre égal. On fit varier la pente, la croisure, l'écartement des traits ; on combina les traits continus, les tirets et les points.

Nouvelle simplification brusque : le C.N.M. limita le nombre des hachures à 6, dont 2 pour le bois. (Bien que ces deux systèmes soient des traits irréguliers faits à main levée, ils ont conservé le nom de hachures).

L'appauvrissement du symbolisme fut compensé par l'emploi d'indications écrites : le rôle des hachures consiste essentiellement à distinguer les pièces les unes des autres ; c'est le nom du matériau qui en fixe la nature.

Alors que les teintes étaient passées sur toutes les parties des pièces, les hachures sont posées sur les coupes et sections seules. Or, certaines pièces : axes, boulons, arbres ne sont jamais coupées ; leur spécification par les hachures eût donc été en défaut.

Les six formes de hachures (1)

Les six formes normalisées sont indiquées par la feuille C.N.M. 43.

(1) L'évolution inévitable vient de se traduire, dans les dernières normes du C.N.M. (Juin 1943) par l'adoption de 17 symboles de hachures au lieu de 6. Il est vrai que les 11 nouveaux « ne seront pas utilisés, dans la mesure du possible ». En tout cas, ils dénotent un retour très net à la pictographie et ils marquent le caractère vivant de la langue.

Le premier système concerne tous les métaux, sauf les métaux spéciaux. Symbole riche en extension, mais bien pauvre en compréhension ! Dans une machine courante, ce système est le seul utilisé.

Le deuxième système se rapporte aux métaux antifriction et, en général, aux matières coulées sur place. Ce sont des parallèles au bord de la pièce, dans le sens de la grande dimension.

Le troisième système symbolise les garnitures, matières isolantes et joints : caoutchouc, amiante, fibre... Il est constitué par des hachures croisées, qui sont la superposition des premier et deuxième systèmes. Son emploi obéit aux mêmes règles. Antifrictions et garnitures sont employés sous faible épaisseur et, généralement, sous forme de revêtements ou de plaques minces. Le nombre de traits de hachures qui les recouvre est faible ; il peut descendre jusqu'à un seul, et l'aspect hachuré est indiscernable. Dès que l'épaisseur est inférieure à 1mm 1/2, il est plus simple de remplacer ce réseau lacunaire par une couche de noir uniforme.

Les quatrième et cinquième systèmes concernent le bois, le quatrième pour les coupes transversales, le cinquième pour les vues extérieures et les coupes longitudinales.

Les métaux sont considérés comme isotropes, ce qui est vrai en première approximation seulement, puisque l'acier laminé et forgé présente des fibres « en long » analogues à celles du bois, ainsi que le montrent les macrographies. Le bois jouit de deux systèmes différents, suivant le sens des fibres. Ces hachures, irrégulières et tracées à main levée, imitent assez bien l'aspect veineux et fendillé de certains bois. Le symbolisme consiste dans l'extension de ces signes à toutes les essences ; il est moins conventionnel que celui des métaux, et se rapproche davantage du stade pictographique.

Le sixième système est l'apanage des alliages à base de cuivre. Il s'emploie exceptionnellement pour les plans compliqués. Des lignes en continu fin alternent avec des lignes en continu court. Autrefois, c'était du pointillé véritable. Pourquoi, dans ce sixième système, ne pas adopter le trait interrompu long ?

Abandon de l'équerre à 45°

Les anciens systèmes de hachures utilisaient l'équerre à 45°, qui fournissait deux inclinaisons. Les nouveaux emploient exclusivement l'équerre à 30°.

Cet abandon de la symétrie est justifié par deux raisons, l'une pratique et l'autre théorique.

Pour hachurer une surface donnée avec un écartement donné des hachures, la longueur des traits mis bout à bout est indépendante de l'inclinaison. Mais la durée du tracé dépend, non seulement de la longueur, mais aussi du nombre des traits. Pour exécuter au tire-ligne un trait de longueur L, le temps nécessaire

peut s'écrire :

$$T = A + \frac{L}{V}$$

A est le temps constant pour poser le tire-ligne à l'origine, pour l'arrêter à la fin du trait et pour reporter le tire-ligne au trait suivant ; V est la vitesse à peu près

constante du tracé. Le tracé d'un petit nombre de hachures longues est plus court que celui d'un grand nombre de hachures courtes. En adoptant un sens de hachures voisin de la grande dimension de la surface à traiter, on réalise cette économie. Pour bien marquer cet avantage, je propose de substituer à la figure de la feuille C.N.M. 43 la figure 40.



Fig. 40. — Modèle de hachures « longues ».

La raison théorique du choix des hachures à 60° et à 30° fera l'objet du chapitre suivant.

Une digression savante

Le passage des hachures à 45° aux hachures à 30° et 60° obéit à une loi générale : la symétrie, pauvre en possibilités, est abandonnée au profit de la dissymétrie, plus souple.

Outre l'économie de temps, déjà signalée, l'usage de quatre inclinaisons au lieu de deux a permis de satisfaire à d'impérieuses conditions géométriques.

Un système déterminé doit permettre, quels que soient l'enchevêtrement et la complication des formes, de distinguer nettement deux pièces contiguës.

Le problème des hachures est identique à celui du coloriage des cartes, par exemple, de la carte des départements français. C'est un point assez obscur et qu'il serait hors de propos de développer ici. La solution ne dépend ni de la grandeur, ni de la forme des pièces, mais uniquement de leurs positions relatives. La science qui étudie ces questions dans leur généralité s'appelle topologie ; elle est d'invention récente, et s'est développée depuis l'apparition des géométries non euclidiennes. Un paradoxe troublant apparaît ; nous laissons aux amateurs le soin de le résoudre, car, de même que pour le théorème de Fermat, les professionnels n'ont pas la solution. Ils démontrent que le coloriage des cartes exige cinq couleurs. (Voir Lucien Godeaux, *Les Géométries*, Collection Armand Colin). Or, jamais un cartographe avec ses quatre couleurs ou un dessinateur, avec ses quatre systèmes, ne s'est trouvé en difficulté.

Les figures 41, 42, 43, 44 présentent quelques exemples curieux de hachuration. Le nombre des systèmes nécessaires passe de deux à quatre, au fur et à mesure que le dessin se simplifie. Le lecteur établira lui-même les théorèmes.

La topologie étudie aussi la géométrie des nœuds comme il s'en présente dans l'art décoratif musulman.

En combinant ces deux notions, il est possible de fonder une nouvelle science fort ardue, celle du coloriage des entrelacs, que les artistes de Damas appliquent avec un goût très sûr.

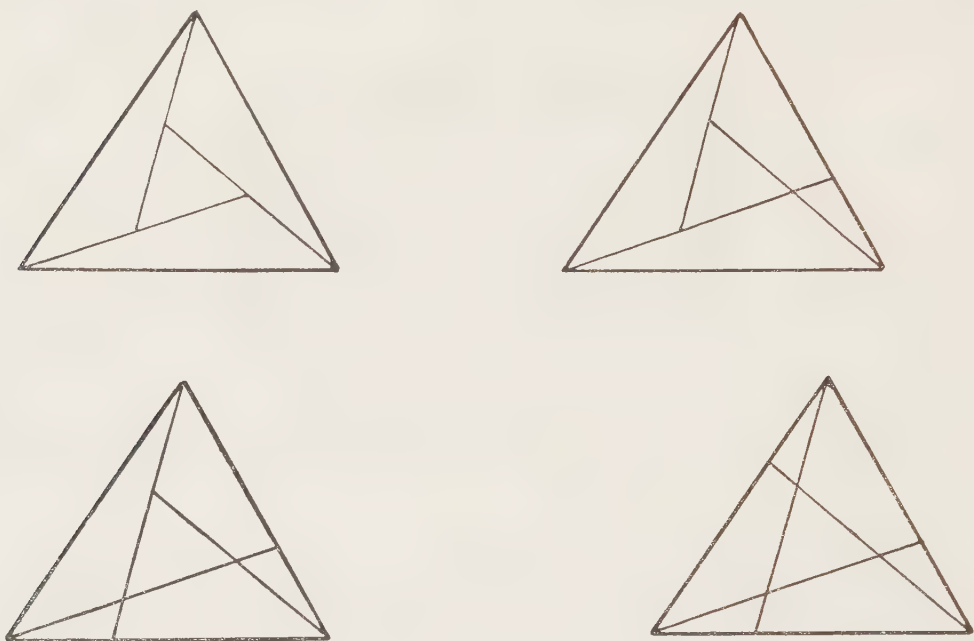


Fig. 41 à 44. — Coloriage des cartes : fig. 41 : 4 couleurs, fig. 42 et 43 : 3 couleurs, fig. 44 : 2 couleurs.

6. — Les cotes.

Les cotes dans les anciens dessins

Dans l'Antiquité, le dessin se contentait souvent d'indications qualitatives.

Les plans des temples étaient déterminés en fonction d'un module, qui fixait les proportions. Pour en tirer des indications quantitatives, il fallait utiliser la valeur, soit de l'échelle, soit du module, et relever directement sur la figure la grandeur à mesurer.

Avant l'invention de la numération, le charpentier phénicien traçait les pièces de sa galère en vraie grandeur sur le sable de la grève.

Pour les paquebots modernes, on procède encore ainsi : les tôles de la coque, les poutres des membrures sont découpées d'après des dessins en vraie grandeur exécutés sur le plancher d'immenses salles de traçage.

Les géographes aussi utilisent volontiers des cartes qualitatives. Inutile, en effet, de préciser la représentation d'une grandeur pour un phénomène vague (par exemple, extension d'une zone de culture). Les indications des cartes relatives au relief sont données, selon les procédés de la géométrie cotée, sur une seule vue, par inscription des hauteurs au-dessus de la mer. Les distances à vol d'oiseau se mesurent par des longueurs sur le papier. D'autres fois, elles sont cotées par un

système semblable à celui des coordonnées polaires (distance d'un aérodrome à un groupe de villes voisines). Enfin, le système de coordonnées sphériques par longitude et latitude détermine un point sur une surface au moyen de deux nombres.

Les cotes dans le dessin technique

Le dessin ancien exprimait ainsi la grandeur de la pièce par la grandeur du dessin.

Un souci de précision de plus en plus marqué se manifesta dans le domaine des machines. La représentation pictographique se fit de plus en plus fine pour être plus exacte. Le dessin de machines essaya de suivre son brillant entraîneur dans sa course au micron ; à cette allure de la machine, il s'essouffla. La précision d'une pièce atteignit bientôt le $1/10$ de millimètre. Il fallait donc que l'épaisseur du trait fut inférieure à cette valeur. C'était impossible.

Au moment où la machine évoluait vers la précision, le dessin, par un retour inverse, paradoxal en apparence mais très naturel, cessa de tendre vers une représentation exacte. Vieil organisme devenu trop compliqué, il devait faire deux choses à la fois : donner la forme et la grandeur. Il se trouva concurrencé par un organisme plus jeune et s'effaça devant lui. Le processus simplificateur est courant dans le phénomène de l'évolution : c'est la spécialisation des fonctions. Si un organe fait deux choses à la fois, un deuxième organe apparaît, et, désormais, chacun d'eux joue un seul rôle et le joue mieux.

Ce nouvel organe fut la cote. Dès qu'elle exprima la grandeur, les traits n'exprimèrent plus que la forme approchée. C'est l'abandon de la pictographie en faveur d'un symbolisme extrêmement puissant. La cote, nombre arithmétique, apporte avec elle la puissance accumulée de l'algorithme mathématique.

A l'époque des arpenteurs égyptiens, nombres et figures étaient liés. Ensuite, arithmétique et géométrie divorcèrent et menèrent une vie séparée. Le dessin normalisé, dans une synthèse cartésienne inspirée de la géométrie analytique, rapprocha les deux conjoints. Rapprochement fécond ! La ligne, indicatrice de formes, simplifia son tracé. La cote, support de grandeur, recula très loin les limites de la précision : un nombre de quatre chiffres dépassait le $1/1.000$.

Quelle tentation d'approcher d'un absolu évidemment théorique ! Cette fois, la machine est battue et dépassée : car la précision représentée par un nombre devançait la précision effective que les procédés d'usinage les plus perfectionnés permettaient de réaliser et que les méthodes métrologiques modernes permettaient de contrôler. L'usage des cotes sans précaution est, non seulement vain, mais dangereusement illusoire. Pour éviter toute tentative dans ce sens, la feuille C. N. M. 45 f, définit les limites maxima de la précision.

Toute indication d'unité a disparu du dessin, puisque le millimètre, module universel des mécaniciens, est la seule unité adoptée.

Lignes de cotes, de rappel. Flèches.

Au début, la cote était inscrite sur le trait du dessin à mesurer. Puis, un trait spécial lui fut affecté : son rôle exclusif fut de supporter la cote, de manière à laisser au dessin son rôle de portrait. Pour la cotation d'une courbe, une ligne de cote rectiligne se rapporte à la corde, une ligne de cote qui suit le tracé de la courbe se rapporte à sa longueur développée (C.N.M. 44, fig. 3 et 4). Plus tard, la nécessité se fit sentir d'une troisième catégorie de traits destinés à rattacher les lignes du dessin aux lignes de cotes correspondantes : ce furent les lignes de rappel ou lignes d'attache. C'est donc après la disparition des lignes de rappel géométriques qu'apparut une nouvelle espèce de lignes de rappel, au service de la cotation.

Les deux extrémités d'une ligne de cote sont ses parties importantes. Pour mieux les marquer, on les munit d'un symbole sciographique fort répandu : des flèches. Si la ligne de cote s'estompe plus ou moins, elle est interpolable au moyen de flèches terminales, fortement tracées.

Nouveau symbole au sujet des flèches : une ligne de cote munie d'une seule flèche indique un rayon. On cote par leur rayon les arcs de circonférence et par leur diamètre, les circonférences complètes.

Ainsi, une simplification brusque est suivie de complications progressives avec l'apparition de fonctions nouvelles.

Manière de coter

A propos de l'inscription des cotes se pose, une fois de plus, le conflit entre économie du tracé et intelligibilité du dessin (intelligibilité au sens mécanique, et non géométrique).

Ici, une initiative assez large est laissée au dessinateur : c'est la partie la plus artistique du dessin. Entre deux dessins, dont la cotation est aussi correcte, il y a une différence d'aspect, qui rend l'un plus lisible que l'autre.

Voici les principes qui guident la cotation.

Les cotes doivent exprimer des grandeurs nécessaires à la fabrication ou à la vérification de la pièce. Des grandeurs géométriques, mécaniquement virtuelles, n'ont pas d'utilité. Pour fabriquer un cylindre creux, le tourneur, avec son pied à coulisse, mesure le diamètre extérieur et le diamètre intérieur ; l'épaisseur de la paroi ne l'intéresse pas. Or, la résistance du tube est déterminée par cette épaisseur, dont la connaissance importe au plus haut point à l'inventeur ou à l'utilisateur.

Toute grandeur mesurable doit être cotée directement. Toute opération arithmétique, même une addition, doit être évitée. Le bureau d'études réfléchit ; l'atelier exécute sans comprendre.

La cotation suppose donc une connaissance de l'usinage. La feuille C.N.M. 44 f₁ rapproche les dessins 1 et 2 : seule, la pièce 2 est cotée correctement à partir d'un plan de référence ; ce plan correspond à la face appliquée sur le marbre pour le traçage. Pour éviter d'accumuler les erreurs par cotes mises bout à bout, pour un organe éloigné, il convient de se référer toujours au même plan.

Position des cotes

Par convention internationale, le chiffre de cote se place au-dessus et vers le milieu de la ligne à laquelle il se rapporte.

Les Anglais suivent d'autres règles. Chez eux, la ligne de cote est interrompue vers son milieu et la cote inscrite à cheval dans l'intervalle (fig. 45).



Fig. 45. — Lignes de cotes ; système anglais.

Cette méthode économise de la place. Elle présente deux inconvénients : perte de temps lors du tracé d'une ligne interrompue et risque de couper le chiffre en deux par la ligne de cote (ce qui transforme un 3 en 8, un 1 en 7...).

La convention relative à la position de la cote est claire, simple, donc légitime. Encore faut-il définir le « dessus » d'une ligne non horizontale. Les figures 7 et 8 de la feuille 44. f₂ répondent à cette question : pour les verticales, le dessus, c'est leur gauche ; pour les obliques, une ambiguïté subsiste, la cote change de côté par rapport à sa ligne quand cette dernière passe par la verticale (fig. 7).

La cotation des arcs s'exprime en degrés par un nombre inscrit, selon les cas, à l'intérieur ou à l'extérieur de l'arc qui tient lieu de ligne de cote (fig. 8).

Une orientation conventionnelle du plan permet donc de lire la cote sans erreur. En principe, les cotes se lisent, soit, comme pour l'écriture, en tenant la feuille verticalement, soit en lui faisant subir une rotation d'un quart de tour dans le sens des aiguilles d'une montre.

La dimension d'une face oblique est indiquée, non par sa longueur, mais par les côtés horizontaux et verticaux du triangle rectangle dont cette face est l'hypoténuse (fig. 9).

De même, un cône est défini par sa hauteur et le diamètre de sa base, et non par la longueur de l'arête.

Ainsi font les géographes, qui donnent la distance horizontale de deux points et leur différence de cotes, et non leur distance vraie.

Limites de la spécialisation

La cote fournit la grandeur exacte, et le dessin, la forme approchée. Elle doit être aussi approchée que possible. Pour des raisons de clarté, pour éviter l'encombrement, on peut être amené à déformer assez librement la forme. L'exécutant sera choqué par la discordance des deux associés et, si l'écart est assez grand, il croira à une erreur. Il faut lui indiquer qui a raison de la cote ou du dessin. Un petit crochet carré, $\perp\!\!\!\perp$, semblable à un u plat, placé sous le chiffre de cote confirme l'exactitude de cette dernière. Pour plus de prudence, on recommande d'ajouter : nota : la cote soulignée n'est pas à l'échelle. Cet avertissement provisoire disparaîtra après l'assimilation de ce nouveau symbole.

Le signe phi (Φ)

Si les Ioniens ont connu le signe Φ deux mille ans après son tracé original, les mécaniciens l'ont recréé en moins de trente ans. Curieuse aventure, en vérité !

Un cercle d'assez grand diamètre est coté par un chiffre sur une ligne de cote diamétrale (fig. 46). Rapetissons le cercle. Selon une convention admise pour les petits intervalles, les flèches sont mises « en soufflet » (fig. 47). Pour les très petits intervalles, le chiffre de cote se met à l'extérieur à droite à côté des flèches (fig. 48). Pour plusieurs cercles concentriques de rayons légèrement différents, la place manque. Il n'est plus possible de disposer les lignes de cotes et les cotes mêmes avec des flèches en soufflet.

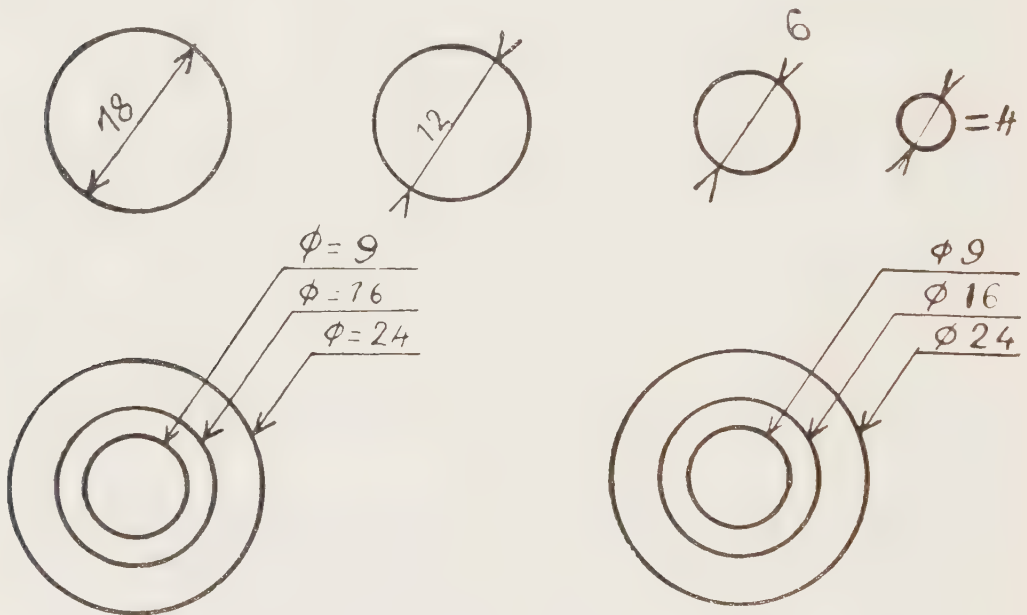


Fig. 46 à 51. — Inscription de la cote diamétrale d'un cercle, les étapes successives parcourues.

Un petit signe en forme de cercle traversé par un diamètre fléché est placé à côté des cercles. Il symbolise la cote diamétrale (fig. 49).

Par la suite, afin de simplifier, on convint de supprimer les flèches, et l'on retomba sur une lettre de l'alphabet grec Φ (fig. 50 et 51).

On écrivait au début : $\Phi =$ tant (fig. 50).

Récemment, le symbolisme s'est encore enrichi, et la signification complète de Φ est actuellement la suivante :

- la ligne à laquelle je me rapporte est un cercle.
- la valeur de son diamètre est : tant.

Le sens mathématique du signe $=$ étant incorporé au symbole Φ , ce signe devint caduc (fig. 51).

Ce choc en retour ne s'arrêta pas là, et l'alphabétisme créa le syllabisme. L'argot de métier dit : « Cet essieu a 200 de long et phi 40 ; passe-moi le phi du

moyeu. » Bientôt, la langue technique adoptera la syllabe phi, qui remplacera une phrase de deux propositions.

En général, les abréviations industrielles dérivent du principe d'acrophonie : I pour intensité, V pour vitesse, Ω pour ohm, PD^2 pour moment d'inertie (on dit le « pédédeux » d'un volant.) Il eut été logique d'adopter D pour le diamètre. Le symbole Φ présente donc une double originalité : la forme a suggéré la lettre, et la lettre le son.

La cotation des arcs de cercle et des congés se fait par l'indication du rayon.

La vérification se fait sur la pièce au moyen d'un gabarit, tracé à l'aide d'un compas d'ouverture donnée. En cas d'ambiguïté, on écrit sur la demi-ligne de cote : $n =$ tant. Pour le rayon, le signe mathématique $=$ n'est pas encore tombé. Cela ne saurait tarder.

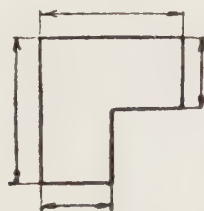
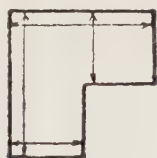


Fig. 52. — Cotation défectueuse. Fig. 53. — Cotation préférable.

La psychologie de la forme

On sait que, si la configuration d'une pièce est unique, sa cotation peut revêtir mille aspects plus ou moins clairs, la clarté étant chose éminemment subjective.

Dans ce domaine délicat, voici quelques conseils généraux :

1.— Eviter toute confusion entre le trait du dessin et les lignes de cotes. Autant que possible, « sortir » les cotes. La figure 53 est meilleure que la figure 52 : la ligne de cote double une ligne de la pièce ; elle ne doit être ni trop éloignée ni trop rapprochée de son double.

2.— Eviter de placer les lignes de cotes sur le prolongement d'une ligne de la pièce : par entraînement, l'œil suit la direction commune et risque la confusion (fig. 54, 55, 56).

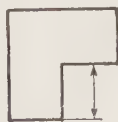


Fig. 54 et 55.— Lignes de cotes mal disposées. Fig. 56. — Disposition préférable.

3. — Eviter l'enchevêtrement des lignes de rappel et des lignes de cotes (fig. 57, 58, 59).

4.— Il existe deux sortes de cotes : les cotes de forme, nécessaires à la détermination du solide géométrique, et les cotes de position, qui situent les parties l'une par rapport à l'autre. Ces deux sortes de cotes doivent être indiquées à part. Quand

la cote de position est variable, ne pas la coter : par exemple, ne pas donner la distance d'un écrou à la tête d'un boulon sur lequel il est à moitié vissé.



Fig. 57 et 58. — Lignes de rappel enchevêtrées. Fig. 59. — Disposition préférable.

5.— Grouper les cotes qui se rapportent à un même côté de la pièce et les séparer des autres. Pour un corps creux, par exemple, mettre d'un côté les cotes relatives aux détails intérieurs, et de l'autre, celles des détails extérieurs (fig. 60 et 61).

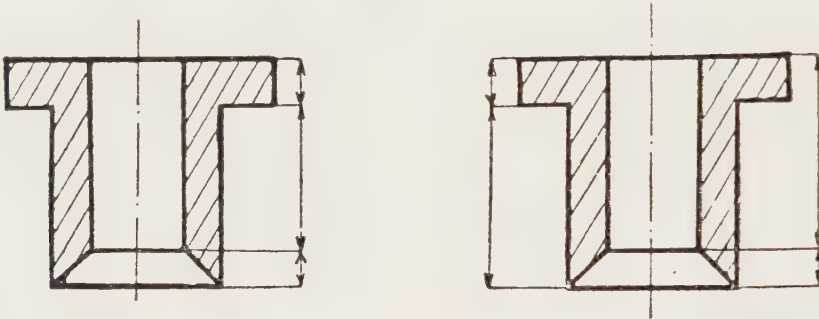


Fig. 60 — Cotes non séparées. Fig. 61. — Cotes intérieures et extérieures séparées.

6.— Certaines grandeurs de la pièce sont inutiles pour sa fabrication. Par exemple, l'intersection d'un cylindre creux avec un cylindre plein est une quadri-que gauche. Pour réaliser cette intersection, le tourneur ne tracera pas la quadri-que gauche sur le cylindre à percer : il choisira dans sa boîte d'outils la mèche de diamètre convenable, et la courbe se tracera d'elle-même. En règle générale, les courbes géométriques : des points intersection de surfaces, ne sont pas définies par leurs cotes, mais par leurs éléments générateurs.

7.— Il est presque inévitable de donner plusieurs représentations de chaque grandeur de la pièce. Cette prodigalité dans les traits n'empêche pas une parcimonie dans les cotes. En principe, coter une seule fois. Toutefois, pour éviter le partage de cotes entre des vues multiples, les plus importantes peuvent être répétées.

7. — Les indications de limites et de façonnage.

Indications de limites

Le travail en grande série exige l'interchangeabilité des pièces. Cette condition sera remplie par construction si leurs dimensions à la fabrication sont comprises entre des limites définies.

Théoriquement, l'erreur sur la pièce est nulle : une cote est un chiffre absolu.

Pratiquement, selon la précision demandée, une limite de l'erreur permise est fixée. La feuille C.N.M. 45. f₁ donne la valeur de ces tolérances.

Cette feuille a un caractère provisoire : elle reflète l'imperfection de la technique. Quand les ajustements eux-mêmes seront normalisés, les indications de tolérance seront moins nombreuses et pourront être remplacées par des notations conventionnelles simplifiées. L'emploi de ces notations nouvelles n'a pas encore subi la sanction des organismes normalisateurs, en attendant leur entrée dans le vocabulaire international. A l'intérieur d'une firme, elles sont autorisées si elles constituent un système cohérent.

Indications de façonnage

Les deux termes bureau d'études et bureau de dessin sont souvent synonymes dans la langue industrielle. Il est donc judicieux de trouver sur les dessins, outre la forme des pièces, tous les renseignements nécessaires pour leur fabrication.

Sur les anciens dessins, les indications de façonnage se limitaient à une seule : désignation des surfaces où des surépaisseurs d'usinage étaient à prévoir. Les symboles adoptés consistaient, soit en un trait de couleur impossible à reproduire, soit en un trait fort, facile à confondre avec un trait d'ombre, soit enfin en des traits mixtes de nature spéciale, qui n'étaient malheureusement pas unifiés.

Les feuilles C.N.M. 45. f₁ et C.N.M. 45. f₂ donnent les indications relatives au façonnage.

Si une partie de pièce ne porte aucun symbole, c'est qu'elle est brute ou grossière. Dans ce cas, l'absence de signe revêt un sens positif précis.

Les symboles 2, 3 et 4 sont des idéogrammes élémentaires : la petite sinusoïde rappelle les rugosités de la surface, un petit triangle de façonnage évoque le passage d'un outil de coupe, et deux petits triangles, un double passage.

Les indications supplémentaires qualitatives sont données un langage ordinaire (fig. 5a, rectifié ; fig. 9, façonné partout), les indications quantitatives, en chiffres (fig. 6, la surépaisseur d'usinage en millimètres est indiquée par un 2).

8. — Les représentations symboliques.

Retour au module des architectes

Le dessin des filetages a été énormément simplifié par la normalisation de ces éléments de machines. En effet, le système international appelé SI est en usage, depuis le Congrès de Zurich en 1898, dans le monde entier, sauf en Angleterre. Des tableaux donnent tous les éléments d'un filetage à partir du diamètre nominal, et la seule cote à indiquer est celle du diamètre.

Pour les filetages autres que SI, des indications succinctes, en langage ordinaire, précisent le système en question. Les abréviations les plus fréquentes sont : « à gauche » — « SI pas fin » — « with », ce qui signifie : système withworth — « gaz », pour filetages au pas des tuyaux de gaz — « filet carré » — « filet trapézoïdal » — « double filet ».

La feuille C.N.M. 46 donne la représentation normalisée des filetages : filetage mâle (fig. 1), filetage femelle (fig. 2), montage d'un filetage femelle sur un filetage mâle (fig. 3). La représentation conventionnelle du filetage consiste en un trait interrompu fin placé au fond des dents du filet. Lorsqu'un écrou est vissé sur une tige filetée, le fond des dents de l'écrou coïncide avec le sommet des dents de la vis. C'est l'indication relative à la vis qui prévaut. Si, au lieu d'un filetage hélicoïdal, le cylindre porte de fines rainures circulaires (par exemple un joint labyrinthe), il devient nécessaire de dessiner leur profil. L'attention doit être attirée, par une petite phrase, sur le fait qu'il ne s'agit pas d'un filetage. Dès lors, quelques « dents » suffisent, le trait interrompu fin reprend son sens et suffit à représenter la partie rainurée.

Les formes de filetages

Pour les filetages, des étapes caractéristiques ont marqué le passage de la pictographie au symbolisme.

La projection orthogonale d'une hélice sur un plan parallèle à son axe est une sinusoïde, courbe transcendante.

Tout d'abord, on donna au filet sa forme hélicoïdale vraie, que l'on traçait par points d'après sa définition géométrique, à l'aide du développement. En effet, les courbes transcendentes ne peuvent se tracer à la règle et au compas. Si la projection eut été oblique, la construction eut été inextricable. Les filets tracés, la forme était indiquée par un lavis ombré (fig. 62).

Puis, on supprima le lavis, et on indiqua les parties cachées par des points (fig. 63).

Le pas des vis est toujours petit par rapport au diamètre, et les sinusoïdes ressemblent fort à des denticules. Par la suite, on remplaça ces sinusoïdes par des droites, la petite troncature du sommet du filet fut indiquée par un double trait (fig. 64).

Un peu plus tard, ce double trait fut abandonné (fig. 65).

Le tracé des traits courts demande presque le même temps que le tracé des traits longs ; on fut donc amené à supprimer les petits triangles qui définissent le

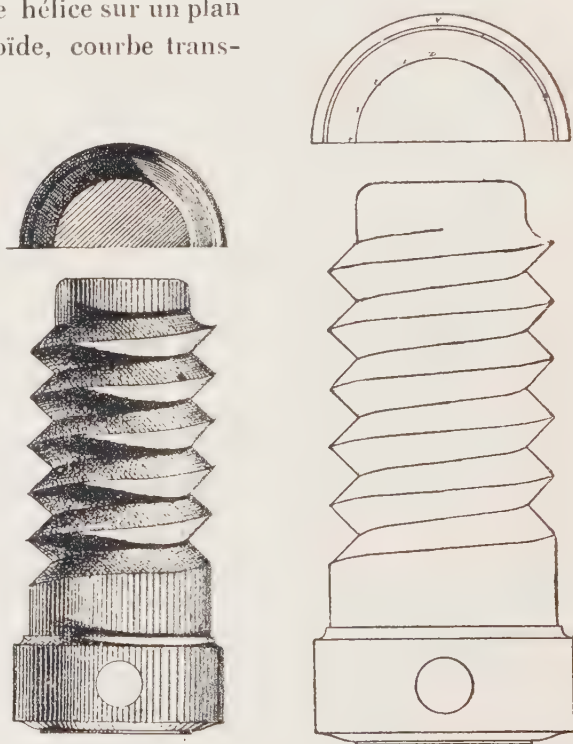


Fig. 62 et 63. — Les étapes successives de la représentation d'un filetage.

profil du filetage, et la représentation devint celle de la figure 66 qui est encore très employée dans les ouvrages techniques.

Ce système des traits parallèles obliques alternativement longs et fins n'était d'aucune utilité pour l'ajusteur. La simplification fut poussée et aboutit au système

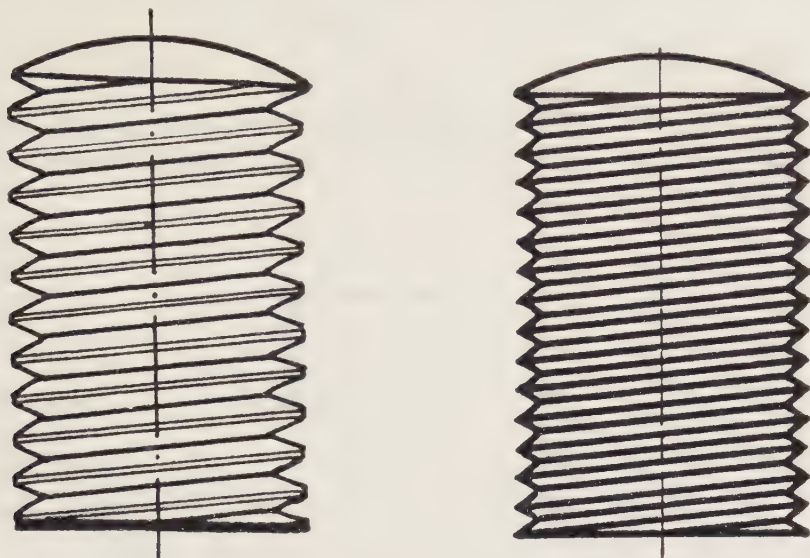


Fig. 64 et 65. — Les étapes successives de la représentation d'un filetage.

actuel: trait interrompu fin placé au fond du filet, et complété, à la limite de la partie filetée et de la partie lisse, par un trait fin terminé, à chaque

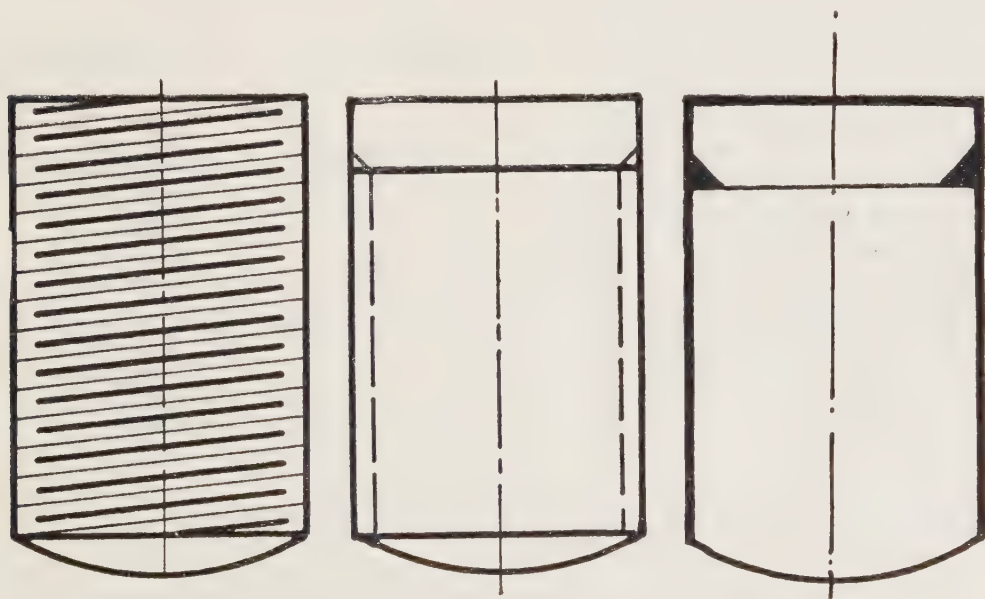


Fig. 66, 67, 68. — Les étapes successives de la représentation d'un filetage.

extrémité, par deux petits angles à 45° tournés vers la partie lisse (fig. 67). Ces deux petits traits constituent un véritable pléonasme: ils symbolisent la moitié du dernier filet.

Quel chemin parcouru en une génération humaine !

Il reste une étape à franchir, étape désignée dans les figures de rhétorique sous le nom de synecdoque. Le trait interrompu sera supprimé, et le trait limite sera seul conservé, avec ses deux petites ailes, renforcées au besoin. (fig. 68).

Les pièces de révolution

Grâce à l'utilisation combinée du trait d'axe et du symbole Φ , les pièces de révolution sont suffisamment définies par une seule projection perpendiculaire à l'axe. Cette vue est coupée, ou, mieux, demi-coupée.

Sur la feuille C.N.M. 47, un symbole nouveau fait son apparition. Il signifie qu'une partie de la pièce *n'est pas* de révolution, il a un rôle privatif. Pour un prisme carré, il consiste dans le tracé en trait fin des deux diagonales de la face vue.

La pièce principale peut porter des détails qui ne sont pas de révolution (par exemple, les trous d'assemblage percés dans une bride de tubulure). Une deuxième projection de la bride est nécessaire, réduite encore à la moitié de la pièce. Si les traits s'arrêtaient net sur l'axe diamétral, le lecteur croirait être en présence d'une demi-bride. Pour éviter cette erreur, le contour est légèrement prolongé au-delà de l'axe. Dans ce cas, les indications des pièces arbitrairement interrompues sont inutiles.

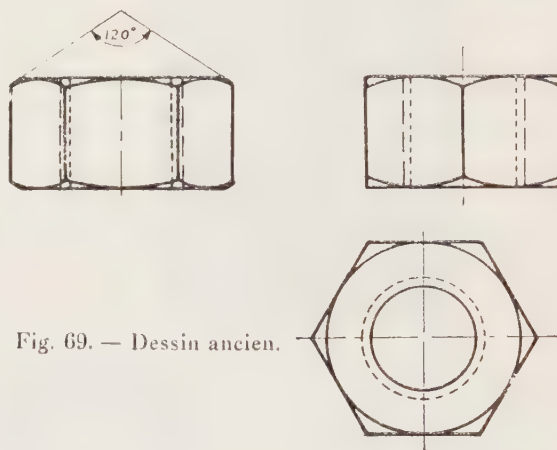


Fig. 69. — Dessin ancien.

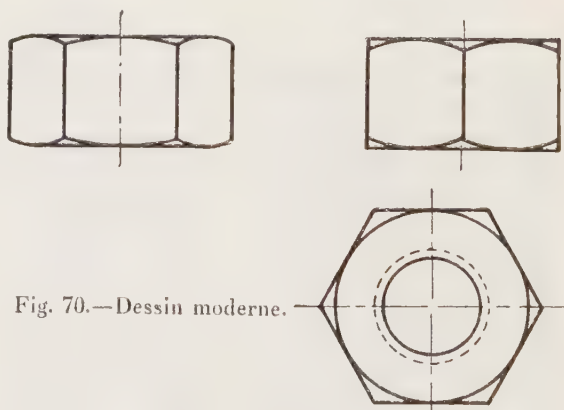


Fig. 70. — Dessin moderne.

Les têtes des boulons et des écrous

Ce sont des prismes hexagonaux, percés et taraudés, à bases chanfreinées à 120°.

Dans le dessin ancien, la vue complète en élévation représentait les parties courbes des faces sous la forme d'arcs de parabole, projection vraie d'arcs de parabole, raccordés pour les faces latérales à de petits segments de droite, traces du cône d'échanfrement. Deux lignes en tirets courts

indiquaient le diamètre de perçage, et deux lignes en trait interrompu long, le diamètre à fond de filet (fig. 69).

Or, les formes des écrous étant normalisées, et leur hauteur toujours égale au diamètre nominal D , leur dessin se simplifia.

Dans le dessin moderne, on donne aux trois faces vues des largeurs $D/2$, D et $D/2$. Les arcs de parabole sont remplacés par des arcs de cercle de rayons respectifs $D/2$, $1,75D$, $D/2$. L'indication de perçage disparaît, ainsi que le profil rectiligne du cône d'échanfrinement (fig. 70). Les trois arcs de cercle se tracent d'un seul coup, à l'aide d'un gabarit en celluloïd.

Les rivets et boulons

La représentation simplifiée de ces organes d'assemblage diffère déjà beaucoup de la réalité. Le titre de la feuille C.N.M. 49 est bien plaisant. Le symbolisme

est si familier qu'il n'apparaît plus, sauf s'il est, pour ainsi dire, porté au carré.

Tous ces petits symboles nouveaux sont bien commodes pour un initié : une petite croix, c'est-à-dire deux fragments d'axes, c'est tout ce qui reste d'un écrou (fig. 71).

Pour un profane, ce langage est hermétique. Il est devenu un jargon spécial pour spécialistes.

Pour les représentations conventionnelles des tuyauteries on utilise selon le fluide conduit plus de 30 couleurs qui permettent d'exprimer plusieurs qualités du fluide. Par exemple eau — non potable — refoulée sera [qualifiée par des anneaux noirs et rouges sur fond bleu foncé (voir C.N.M. 6006).

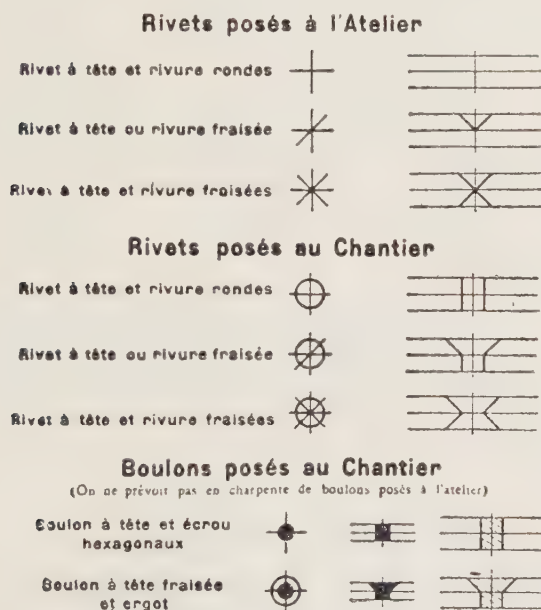


Fig. 71. — Extrait de la feuille C.N.M. 49.

Les installations électriques

Ce langage spécialisé particulier à une technique est très florissant en électricité.

En 1907, la Société Internationale des Electriciens, devenue depuis Société Française, mit à l'étude un système de symboles, s'inspirant des trois conditions suivantes :

- Exiger le minimum de signes.
- Etre facile à reproduire à la main ou aux machines.
- Etre facile à combiner entre eux.

La figure 72 donne un exemple des symboles élémentaires en vigueur.

ÉLECTROTECHNIQUE (TRANSFORMATEURS, MACHINES, INSTRUMENTS)

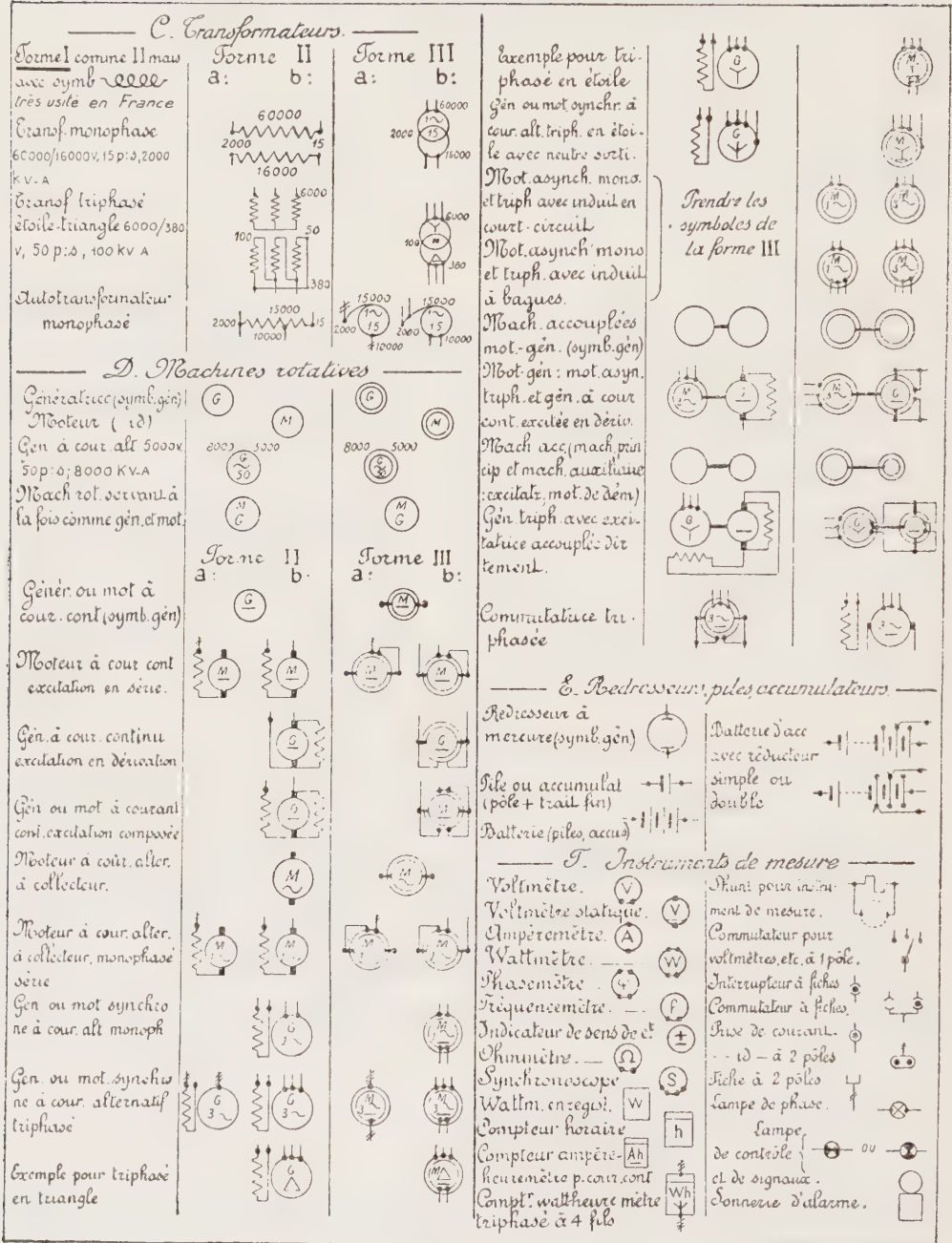


Fig. 72. — Quelques symboles élémentaires utilisés en Electrotechnique.

Ainsi qu'il a été noté plus haut, les symboles électriques sont d'une nature différente. Ils sont fonctionnels et non morphologiques.

Les écritures dans les dessins techniques

Les mentions écrites constituent le complément indispensable des dessins.

Quatre sortes d'écritures sont admises (feuilles 50. f_1 , 50. f_2 , 50. f_3 et commentaires). Le bâton droit et le bâton incliné se rattachent aux formes épigraphiques. La ronde et la bâtarde se rattachent aux formes cursives.

Comme dans l'art grec, chaque paramètre d'une lettre est défini en fonction d'un module appelé corps de la lettre, c'est-à-dire la hauteur d'une minuscule sans jambage. Le tracé de l'écriture bâton est plus facile que le tracé des écritures anciennes, et surtout que celui des écritures fantaisistes en honneur chez les architectes.

Un nouvel instrument, le *trace-lettres* ou *normographe*, permet l'emploi commode des alphabets bâton. C'est un gabarit en celluloïd découpé qui sert de guide, soit à une plume à palette, soit à un petit tube cylindrique, sorte de plume d'oie coupée droit qui, à la différence des plumes à bec fendu, dérivées du roseau ou de la plume d'oie biseautés, donne une épaisseur de trait uniforme, quelque soit le sens (fig. 73) Les extrémités des traits prennent la forme de demi-cercles, les angles s'arrondissent et donnent aux lettres une silhouette caractéristique (fig. 74).

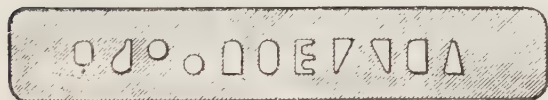


Fig. 73. — Trace-lettres, ou normographe.

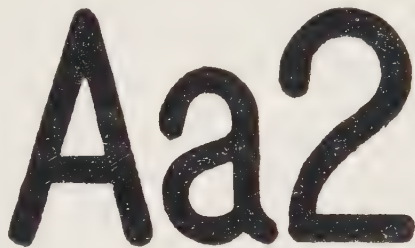


Fig. 74. — Spécimen d'écriture bâton.

Ce style nouveau, très lisible et assez décoratif, a été imité par l'imprimerie. Ainsi, une forme épigraphique, simplifiée pour la commodité, est passée dans le domaine typographique, grâce à sa netteté, à sa nouveauté, et à sa ressemblance avec un tracé... manuel. De même le pochoir, ancêtre du trace-lettres, avait, en son temps, influé sur l'imprimerie.

TROISIÈME PARTIE

L'ÉVOLUTION DU DESSIN DE MACHINES

Adaptation d'une langue à sa fonction

La première partie de cette étude est une histoire sommaire des écritures.

La deuxième est un examen critique du dessin de machines. Elle fait apparaître de nombreuses similitudes entre deux modes de notation.

Dans la troisième partie, la comparaison sera reprise sous forme systématique pour dégager les lois générales d'évolution.

Un aphorisme de la philosophie classique fournira le plan de la troisième partie. Il peut être traduit par un schéma en forme de cycle fermé :

1° — <i>Notation</i> :	cerveau	→	main	→	œil
2° — <i>Lecture</i> :	cerveau	←			œil ↓

Les exigences des trois organes : cerveau, main, œil, sont plus ou moins contradictoires. Le dessin de machines a reçu trois sortes d'empreintes superposées difficiles à analyser. L'exposé suivant en trois chapitres consacrés respectivement au cerveau, à la main, à l'œil est un peu artificiel, mais imposé par des raisons de clarté ; il se termine par une étude plus large de l'évolution.

1. — Influence du cerveau.

Rôle du degré d'évolution intellectuelle individuelle

La transformation de la pensée en traits n'a de valeur que si la transformation inverse est possible. Une anamorphose irréversible, un cycle qui, partant du cerveau, n'y retournerait pas, serait un errement.

Le rôle essentiel des organismes normalisateurs est donc d'arrêter un vocabulaire précis, de codifier le symbolisme, de fournir d'une façon sûre le fil conducteur pour le retour.

Au fur et à mesure que l'organisme à exprimer se complique, le code s'assouplit ; des conventions nouvelles s'ajoutent, le cerveau accepte une gymnastique de plus en plus rude. Le symbolisme, lancé dans cette voie, se fait de plus en plus hermétique, jusqu'au moment où le cerveau refuse de le suivre. Alors, un mouvement de relaxation se produit.

Les conventions sont divisées en deux catégories : les générales et les spéciales.

Les générales, qui s'adressent à tous, sont réduites à un nombre aussi petit que possible. Le code des symboles qui leur est affecté marque une régression brusque.

Pour les spéciales, il suffit de connaître le groupe relativement restreint qui s'adresse à un métier déterminé. Le groupe peut proliférer à son aise.

Par exemple, les conventions de hachures sont générales : leur nombre est passé d'une trentaine à sept. Les symboles généraux sont actuellement au nombre de vingt environ : c'est à peu près le nombre de lettres des divers alphabets.

Les symboles électrotechniques intéressent seulement les électriciens : on en compte actuellement trois cents environ. Les mécaniciens de la navigation à vapeur avaient créé pour le repérage de leurs tuyaux, canalisations et robinets, plus de cent symboles. Les tisseurs, pour les torsions de fils, en ont autant...

Rôle du degré d'évolution collective

Le dessin de machines a la prétention d'être intelligible, non seulement pour qui l'a tracé, mais encore pour tous les membres de la communauté humaine.

Les organismes normalisateurs ont, dans ce domaine, une double tâche : assurer la réversibilité de la notation à l'intérieur des nations, assurer la diffusion du code entre nations.

Ce sont ces nécessités d'ordre collectif qui ont accentué le caractère symbolique du dessin.

La société moderne présente en effet deux tendances dominantes : la recherche du rendement et l'augmentation du nombre des initiés.

La recherche du rendement a causé la disparition de tout ce qui subsistait d'artistique dans le dessin de machines. Seul, le caractère expressif du symbole, assez éloigné du stade pictographique, a été conservé.

La diffusion de la culture a multiplié le nombre des initiés. Un symbolisme savant n'est plus un obstacle à l'échange des idées. Au cours de la dernière génération, on peut admettre que le nombre de ceux, capables de lire un dessin de machines comme on lit un journal, a centuplé.

Le trait de force, si parlant pour un profane, a été abandonné, puisque superflu. Facile sacrifice à l'idéographie ! Le puissant symbole Φ , si abstrait, apparut. Les hachures à 45°, dictées par un vieux besoin de symétrie, aussi instinctif qu'injustifié, sont tombées en désuétude.

Place grandissante de la machine dans la civilisation

Les sujets traités par les langues réagissent sur ces langues.

Les idées nouvelles des philosophes et des encyclopédistes du XVIII^{ème} siècle bouleversèrent le français. La multiplication des machines au cours du XIX^{ème} siècle bouleversa le dessin. Des milliers de gens qui, cent ans plus tôt, auraient ressenti la vocation de peintre ou de dessinateur d'art, se trouvèrent reversés dans une profession de plus en plus répandue : dessinateur de machines. Les talents sont fonction des carrières offertes. Mais, outre ce phénomène de report, il y eut un phénomène d'inflation : pour un peintre de portrait ou de paysage, il y eut cent places créées dans les bureaux d'études ; ces derniers ne trouvèrent plus assez

d'artistes au sens ancien du mot capables de passer de la virtuosité du pinceau à celle du tire-lignes.

Le prix du temps augmentait constamment par rapport à celui de l'énergie. Les frais d'études, au seul bureau de dessin, d'un prototype d'avion sont dix fois plus élevés que le prix d'un avion de la série.

Des procédés de fabrication de plus en plus subtils virent le jour dans l'industrie. L'expression de ces techniques nouvelles influa sur le dessin. Jadis, les dents d'engrenage étaient taillées une par une à la main. L'ouvrier guidait son outil d'après un tracé aussi exact que possible, qu'il avait reporté et pointé sur le disque à usiner. Le dessin devait fournir au traceur une épure précise et complète de la denture.

Le travail en série amena l'usage de machines à tailler les engrenages. Ce n'est plus une figure qui guide l'outil, mais le diviseur de la machine. Le dessin de la denture est inutile, et le dessinateur définit suffisamment l'engrenage en traçant en traits conventionnels les cercles du bout et du fond des dents et la circonférence primitive, puis en écrivant en chiffres le nombre de dents.

Toutes ces raisons ont ajouté leurs effets. L'idée à exprimer devait être précise et claire, la manière de l'exprimer devait être simple.

Nécessité d'un terme nouveau

N'est-il pas étonnant qu'un métier aussi répandu que celui de dessinateur de machines porte un vocable en trois mots, alors que peintre, aquafortiste, pastelliste ou aquarelliste, fonctions en voie de régression, aient un nom si commode ?

Qui osera lancer le néologisme idoine ? Mécanographe est déjà pris par les calculateurs aux machines.

Nous proposons le mot : technographiste. Le dessin de machines normalisé serait appelé : technogramme, et se distinguerait du dessin d'ornement, de l'épure de descriptive, du lavis d'architecture, des cartogrammes pour représentation graphique de grandeurs diverses, et du calque, report en traits opaques du technogramme sur papier transparent. Les technographes, ensemble des instruments de dessin, sont de deux sortes : les technographes à règles parallèles (guidés en général par câbles métalliques) et les technographes à équerre de translation (guidés par parallélogrammes déformables).

2. — Influence de la main et des outils qui la prolongent.

Le support de l'écriture influe sur les formes. Ainsi le papier pour le dessin de machines. A l'excellent papier de chiffons de nos pères, s'est substitué un papier plus ordinaire à base de pâte de bois qui ne permet, ni les traits déliés, ni les laborieux grattages. Quant au papier calque, indispensable à la reproduction des dessins, il est légèrement huileux, et ne permet que des tracés francs et vigoureux. Enfin le papier photographique, utilisé pour les tirages, est insensible aux couleurs et subit toujours un léger voile : les traits trop fins ne « passent » pas.

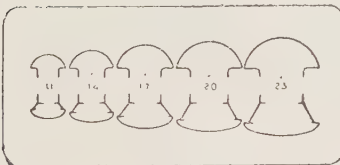
Le tire-lignes n'a guère évolué. Petite pincette de fer, dont l'écartement des branches est réglable par vis, ses jours peuvent être comptés. En effet, sur un dessin donné, trois épaisseurs de traits seulement sont utilisées : le gros, le demi-gros et le fin. L'usage des tubes de trace-lettres et des plumes à palette munies d'un réservoir plus ou moins important, vendues par jeux de trois, se substituera à celui du tire-lignes, instrument universel, mais d'un maniement fastidieux.

Guides spéciaux pour l'exécution de pièces normalisées

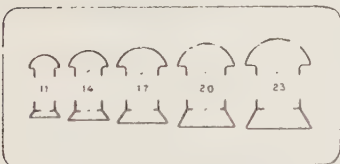
No 20 — Guide pour indications d'usinage



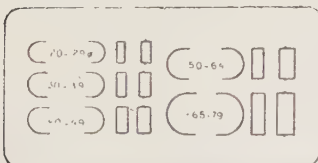
No 22 — Trace-rivets à tête cylindrique de 11 à 23 mm.



No 23
Trace-rivets à tête fraisée, de 11 à 23 mm.



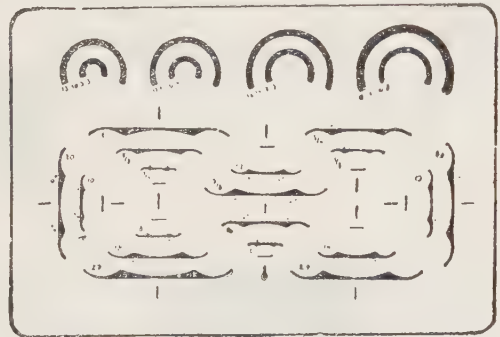
No 30 — Trace-clavette



No 29 — Rapporteur d'angles et de pentes

No 21 — Trace-écrou et Trace-circonférences

Écrous de 6 à 22 mm. et de 1/4 de pouce à 1
Circonférences de 5 à 18 mm. de diamètre



No 24 — Trace-circonférences de 1 à 50 mm.

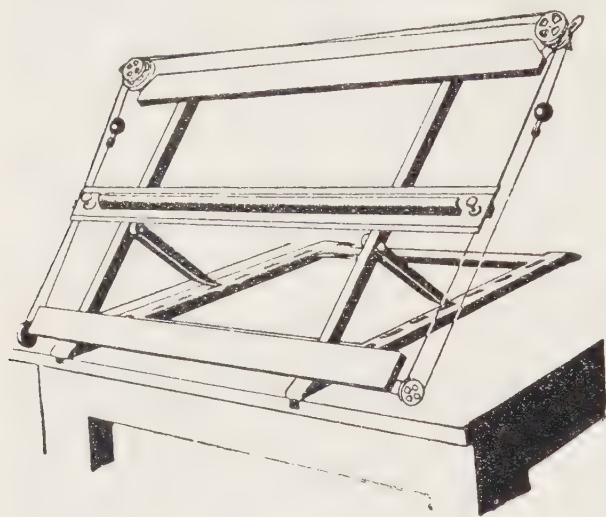


Fig. 75. — Gabarits en celluloid.

En musique, les gammes étant normalisées, les instruments à sons fixes ont remplacé les instruments ajustables.

Les tracés sont guidés par des instruments qui, il y a trente ans, se bornaient au té et à l'équerre. Pour cette raison, et d'autres que nous verrons plus tard, le

dessin marquait une prédilection pour les horizontales et les verticales, afin d'éviter les obliques, tracées par appui sur une règle tenue elle-même d'une façon assez précaire d'une seule main.



Certaines boîtes de compas perfectionnées contenaient un tire-lignes mû par un jeu de molettes, qui permettaient de tracer assez rapidement les diverses espèces de traits mixtes. Actuellement, les traits mixtes ont été simplifiés, et l'usage de cet instrument délicat est en train de disparaître.

Les formes de certaines pièces de machines ont été elles-mêmes normalisées.

Les formes adoptées ont pu être découpées une fois pour toutes dans un gabarit en celluloïd. L'emploi des gabarits pour les rivets, les têtes de boulons... se développe beaucoup (fig. 75).

Enfin, comme nous le verrons plus loin, les formes de la machine, de plus en plus arrondies, ont multiplié la présence d'arcs de cercles raccordés à deux droites (les congés des mécaniciens). Ces arcs bitangents se tracent plus facilement au moyen du gabarit circulaire que du compas.

L'ancêtre des gabarits était le pistolet, utilisé pour tracer par tâtonnement des courbes non circulaires ; il servait à des fins multiples.

Les gabarits actuels, plus nombreux et plus spécialisés, ont obéi à la grande loi d'évolution qui affecte un outil à une fonction.

Avec le système té et équerre, la main gauche du dessinateur remplit une fonction bien compliquée : elle doit appliquer la tête du té sur le bord de la planche, faire glisser le té sur ce bord, et l'équerre sur le té.

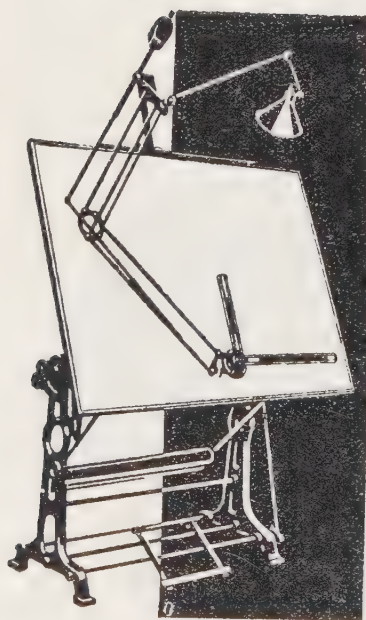


Fig. 76 et 77. — Appareils de dessin modernes.

Les appareils de dessin modernes facilitent beaucoup les manœuvres de la main gauche. Ces appareils sont de deux espèces. Les figures 76 et 77 en font comprendre le principe.

Dans le premier, la règle se déplace parallèlement à elle-même, guidée par des

câbles métalliques souples croisés derrière la planche et s'enroulant sur de petites poulies.

Dans le deuxième, l'équerre est reliée à la planche par l'intermédiaire d'un double système de parallélogrammes articulés. L'équerre est réduite aux deux côtés de l'angle droit, qui portent une graduation. Dans un déplacement quelconque, elle reste parallèle à elle-même et dispense par sa graduation de l'usage du double-décimètre. Ces systèmes sont équilibrés par contre-poids ou ressorts, et n'ont pas besoin d'être soutenus.

A cause de leurs nombreuses articulations, susceptibles de prendre du jeu, ils doivent être construits avec soin, pour conserver une grande précision. Un bon appareil à dessiner vaut une dizaine de mille francs. Ce prix mesure la valeur du temps économisé dans les bureaux de dessin.

Dans le système à parallélogrammes déformables, l'équerre peut être bloquée dans une position oblique. Le tracé d'un réseau de hachures est alors très facile, ce qui explique la disparition des appareils spéciaux appelés hachurateurs.

3.— Influence de l'œil.

Le cerveau, l'œil et la main essayent de se rejeter la besogne de l'un à l'autre. Le premier voudrait une expression aussi réaliste que possible, pour éviter toute fatigue mentale. Si la main et l'œil sont en conflit quant à la forme du tracé, ils sont d'accord sur un point, c'est sur la nécessité de schématiser l'expression le plus possible pour gagner du temps et éviter tout effort musculaire. En fin de compte, c'est l'œil qui est le plus souvent sacrifié.

En effet, les rôles de la main et du cerveau, étudiés depuis longtemps, sont relativement faciles à codifier. Les règles de la perception visuelle sont encore trop mal connues. La théorie de la forme est une science jeune. Le corps de doctrine qui fixe les lois de la vision d'ensembles est encore bien mince.

Certaines règles appliquées par les dessinateurs se sont trouvées a posteriori justifiées par des lois de perception visuelle : par exemple, la règle qui définit la position des lignes de cotes par rapport aux contours de la pièce.

Il reste, dans ce domaine, un champ immense à explorer.

A défaut de doctrine, le talent artistique du dessinateur reprend un rôle prépondérant. Une remarque faite à propos des cotes a souligné les différences de clarté et d'harmonie entre deux dessins justes et complets. En général, la lisibilité d'un dessin dépend directement du goût de son auteur.

1. — Résistance à l'évolution.

Survivance des formes ancestrales

Il ne peut s'agir ici d'étudier l'évolution des formes de machines en soi. Il s'agit seulement de l'influence de ces formes sur leur mode d'expression.

L'étude de la morphologie mécanique comparée montre d'une façon frappante l'inertie des formes de machines.

Les ancêtres des machines étaient les machines à habiter — les maisons — et le dessin technique, l'apanage des architectes. La différenciation des formes et des systèmes de représentation ne se fit pas sans résistance — séparation de deux vieux conjoints — et presque à contre-cœur.

Les matériaux des constructions civiles sont peu nombreux et de propriétés très voisines. Les pierres se taillent par éclats à angles vifs et généralement droits. Les premiers dessinateurs de machines, par inertie, reproduisirent les formes des monuments. Leurs machines avaient des angles vifs, des allures carrées. Ils y arrivaient au besoin en taillant au burin des copeaux sur les pièces métalliques, comme les éclats sur les pierres.

Les grands balanciers des premières machines de Watt étaient soutenus par des colonnes doriques en fonte et, en 1942, le fameux *Larousse Illustré* reproduisit les figures d'une machine à vapeur munie de colonnes à chapiteaux.

La forge et la fonderie, vieux procédés de fabrication, se satisfont de formes assez enveloppées : aussi, leurs produits étaient-ils considérés comme des ébauches. Le mécanicien n'avait de cesse qu'il ne leur eût imprimé, sans aucune raison mécanique, la ligne droite, lisse et nette, qui était née sous son tire-lignes retardataire.

Les procédés de fabrication d'une industrie exubérante s'accommodaient de plus en plus mal des formes droites. La généralisation des procédés de fonderie et, en particulier, de la fonderie en coquilles posa des problèmes beaucoup plus délicats que le moulage en sable.

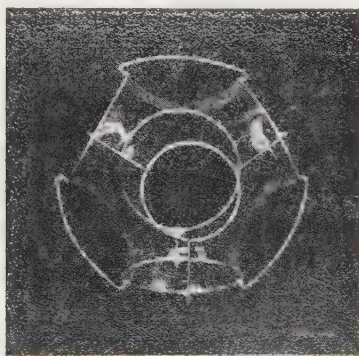


Fig. 78. — Bulle de savon tendue sur un cadre en fil de fer.



Fig. 79. — Moyeu d'hélice tripale.

L'estampage, l'emboutissage, déformations à froid du métal au moyen de matrices énormes, mues par des presses aux formes gigantesques, exigèrent aussi de larges congés. Dans les angles vifs, le métal ne glissait pas, mais s'arrachait. Les arêtes aiguës des matrices, très fragiles, étaient difficiles à fabriquer. Le galbe théorique d'un moyeu d'hélice tripale se détermine en tendant une bulle de savon

sur un cadre en fil de fer matérialisant les faces du moyeu. Or, les formes d'égale tension superficielle ou ménisques ont un galbe à courbures très progressives (fig. 78 et 79).

La pierre est un matériau destiné à résister aux efforts statiques. Presque toujours, le métal subit des efforts dynamiques, le plus souvent alternés. Les nervures et les saignées pointues amorçaient des fissures et provoquaient des ruptures. Les pièces soumises à des efforts variables étaient particulièrement sensibles à cet effet d'entaille.

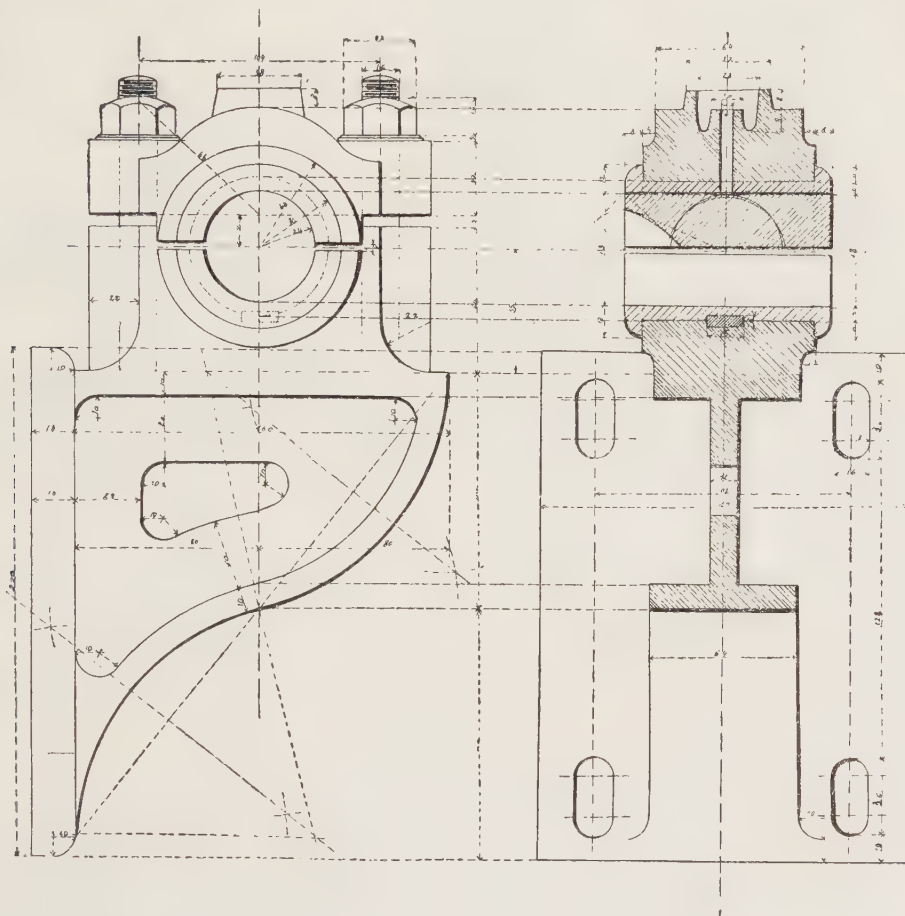


Fig. 80. — Un ancien dessin de machine.

Enfin, la mode se mit de la partie. La grande vitesse des véhicules conduisit à la recherche des formes aérodynamiques. L'auto, l'avion, la superstructure des paquebots habituèrent l'œil à des formes arrondies, et les domaines les plus divers de la machine subirent cette influence. Le mouvement lancé, il dépassa son objet. Bref, il y eut réaction de la courbe contre la droite, et victoire du compas du mécanicien sur la règle de l'architecte.

DESSIN ANCIEN

Lignes de rappel.
Constructions géométriques.
Echelle en fraction décimale.
Traits longs à tracer.

Traits de force.
Ombres.
Hachures à 45°.
Hachures serrées.

DESSIN MODERNE

Inutiles pour la construction. Supprimées.
Trop théoriques. Supprimées.
Echelle en fraction ordinaire.
Traits conventionnels faciles (suppression du pointillé, indication du filetage par interrompu fin).
Supprimés.
Supprimées.
Hachures à 30° ou à 60°.
Hachures espacées.

COTATION

Boulons cotés.
Confusion des diamètres et rayons.
Certaines cotes sont répétées.
Des cotes importantes manquent.
Flèches grêles.
Chiffres petits.
Les cotes ne sont pas données en vue du traçage.

Inutile : les boulons sont normalisés.
Distinction entre les deux.
Cotation simplifiée.
Une coupe partielle permet de coter le trou taraudé et le goujon.
Flèches vigoureuses.
Chiffres faciles à lire.
Voir la cotation des trous ovales de la semelle.

La forme de la région P est mal définie.

Une section partielle rabattue définit la forme.

Pas de nomenclature. Les deux coussinets sont-ils différents ?

Nomenclature complète.

6. — La normalisation : cinétique de l'évolution.

Théorie embryogénique de l'évolution

Depuis Lamarck et Darwin, les théories sur l'évolution des êtres vivants se sont multipliées à un point tel qu'il existe actuellement des théories sur l'évolution des idées évolutionnistes.

Il est tentant de rapprocher les lois de l'évolution des machines et de l'évolution des moyens d'expression des machines, des lois admises pour les organismes. Une théorie célèbre affirme que l'embryon repasse, à chaque stade de son développement in utero, par les états successifs que les individus de l'espèce ont franchis entre la forme ancestrale rudimentaire et la forme perfectionnée actuelle. Seulement, tandis que la modification lente du type par générations successives a demandé des millions d'années, les transformations de la vie fœtale, raccourci prodigieux, se font en quelques mois.

De même, les machines, en se reproduisant, subissent des transformations infinitésimales. Le bureau d'études intègre en quelques semaines tous ces petits changements, comme l'« équipe de la mouche » avait utilisé la drosophile pour les lois de génétique animale. Le bureau de dessin est le milieu fécond dans lequel la conception de la machine évolue à un rythme accéléré (fig. 82).



Fig. 82. — L'organisme qui enfante la civilisation mécanique : le bureau de dessin.

C'est au bureau de dessin que l'inventeur confie son idée, pour qu'elle prenne un corps robuste, et devienne viable, avant de voir le jour. Le bureau de dessin a pu jouer ce rôle en utilisant un instrument puissant, le dessin technique normalisé. Les organes normalisateurs ont poussé l'évolution de ce langage, depuis trente ans, plus loin que l'usage ne l'avait fait pour les langues parlées, en trente siècles. Ces organismes normalisateurs ont créé une langue en l'espace d'une génération humaine, ont codifié sa grammaire par le monde entier, et ont fourni des termes nouveaux, au fur et à mesure que les exigences d'une industrie exubérante les réclamaient. Le mérite créateur des comités de normalisation est énorme.

Organismes normalisateurs (1)

Dans chaque pays industriel, existent des *Bureaux des Normes*, pour les diverses branches de l'Industrie, du Commerce et de l'Agriculture. La France en

(1) D'après le Génie Civil, 5 mars 1939.

possède une dizaine. Nous savons que le *Comité de Normalisation de la Mécanique*, ou C. N. M., s'occupe du dessin de machines.

Ces dix bureaux sont groupés au sein d'un organisme central : l'*Association Française de Normalisation* (Afnor). L'Afnor est représenté au Ministère du Commerce par le *Comité de Normalisation*.

Les associations centrales de chaque pays sont groupées dans une fédération internationale : l'*International Federation of National Standardisation Association* (I. S. A.). L'I. S. A. comprend plusieurs comités dont l'un, le numéro 10, s'occupe du dessin et unifie les normes nationales. Le comité 37, de terminologie, unifie les termes des langues ordinaires. Il a, en préparation, un dictionnaire polyglotte, divisé par branches. En France, il empiète sur les attributions de l'Académie. De plus, il assure la liaison entre pays étrangers. Le comité 37 a également formulé des règles pour la formation des termes internationaux dont le besoin se fera sentir à l'avenir.

L'espéranto jouera un grand rôle dans la diffusion du vocabulaire technique normalisé. Sa grammaire et sa syntaxe particulièrement simples le désignent comme moyen de coordination internationale. Déjà, le Bulletin de la Société Française des Electriciens fait précéder chaque mémoire d'un résumé en espéranto. A la demande de deux Français, MM. Cotton et Mesny, le *Comité Electrotechnique International* a décidé la rédaction en espéranto de la terminologie électrique.

Jusqu'à l'époque contemporaine, le latin jouait le rôle de langue savante internationale. Fermat, Descartes, le Père Merseune n'auraient pas imaginé un autre moyen pour écrire à leurs correspondants. Le latin est demeuré langue liturgique internationale, mais son usage dans les sciences est désormais dévolu à l'espéranto.

Origine et buts de la normalisation

Comme toutes les techniques industrielles, la normalisation est fille de la paresse. Mais, alors que les autres techniques peuvent se développer individuellement, la normalisation exige une action collective.

Sa nécessité apparut au cours de la guerre 1914 - 1918, puis, la paix revenue, elle fut très discutée. Elle fut présentée, tantôt comme un bienfait des dieux, et tantôt, comme une malédiction de Satan.

Le but de la normalisation est l'augmentation de la production (en moyenne, 20 % de plus), son moyen unique, l'amélioration du rendement.

Cette course vers le rendement, cette lutte contre les pertes et le gaspillage, mettent en jeu trois facteurs : l'organisation, la parcimonie, le progrès technique. La normalisation est une manifestation de l'esprit d'organisation, mais elle procède de la technique et utilise le machinisme, étendu jusqu'aux réflexes humains. Elle crée l'interchangeabilité.

Les formes de la machine sont très complexes et, par conséquent, les aspects de la normalisation, très variés.

Les normes unifient, simplifient, spécifient. Elles se groupent en deux catégo-

ries : les premières se réfèrent aux dimensions et font appel à tous les moyens de la métrologie moderne ; les secondes se rapportent à la qualité.

Règles de la normalisation

La normalisation doit être rationnelle. Une de ses qualités essentielles est l'homogénéité des différentes normes entre elles. Une norme nouvelle doit tenir compte de toutes les normes déjà établies.

En ce qui concerne les dimensions, une bonne homogénéité est assurée par l'usage des séries constituées par une série de progressions arithmétiques de raisons croissantes. Voici un fragment de la série des diamètres nominaux des tiges filetées dans le Système International (filetage S. I.).

3	—	3,5	—	4	—	4,5	—	5	—	5,5	—
6	—	7	—	8	—	9	—	10	—	11	—
14	—	16	—	18	—	20	—	22	—	24	—
27	—	30	—	33	—	36	—	39	—	42	—
45	—	48	—	52	—	56	—	60	—	64	—
68	—	72	—	76	—	80	—	85	—	90	—
95	—	100	—	110	—	125	—	140	—	160	—
180	—	200	—	220	—	250	—	280	—	315	—
355	—	400	—	450	—	500	—	560	—	630	—
710	—	800	—	900	—	1000	—	1120	—	1250	—
1400	—	1600	—	1800	—	2000	—	2240	—	2500	—
2800	—	3150	—	3550	—	4000	—	4500	—	5000	—
5600	—	6300	—	7100	—	8000	—	9000	—	10000	—

et de 5 en 5 jusqu'à 200.

Ces séries s'insèrent dans des séries plus générales, appelées séries Renard, et constituées par une progression géométrique de raison $^{10}\sqrt{10}$, soit 1,2589. A 1/1.000 près, c'est la valeur de $^3\sqrt{2}$ soit 1,2599. Les termes de 10 en 10 sont donc multipliés par 10, et, de 3 en 3, ils sont multipliés par 2.

Les musiciens appelleraient « gamme généralisée » l'échelonnement de fréquences dont les hauteurs, en progression géométrique selon la série de Renard, auraient pour valeurs 1 — 1,25 — 1,6 — 2 — 2,5 — 3,2 — 4 — 5 — 6,3 — 8 et 10. L'intervalle constant entre deux termes serait appelé un « ton ».

Pour certains cas spéciaux, si l'intervalle de 1 ton est trop grand, on peut intercaler des termes intermédiaires appartenant à la série $^{20}\sqrt{10}$, et procédant par conséquent par demi-tons.

La série de Renard est la gamme diatonique des séries de machines. Elle eut enchanté Pythagore.

La conception moderne de la normalisation s'inspire de l'amour du rythme et du nombre chers à la Grèce antique. La normalisation est rationnelle au sens où l'entendaient les Anciens, pour qui le mot *ratio* était extraordinairement chargé de sens.

La normalisation, facteur de progrès techniques

D'aucuns pourraient penser que la normalisation est un frein au progrès. Or, bien comprise, elle facilite une heureuse évolution.

Un projet de normalisation nécessite la centralisation de documents et suscite de fécondes discussions internationales. La règle adoptée, l'ingénieur est dispensé de recherches inutiles, et laisse libre cours à ses facultés inventives. La normalisation coordonne les études techniques des diverses branches et les possibilités

industrielles. Comme un sage pilote, elle dose à bon escient la pédale d'accélération et de frein.

Certaines normes sont immuables ; d'autres se modèlent sur les progrès de la technique. D'ailleurs, la rectification d'une erreur est toujours possible.

La normalisation, facteur de progrès économiques et sociaux

Les architectes de la Grèce antique utilisaient les modèles pour la construction des temples ; libérés ainsi des contingences de détails, ils se consacraient exclusivement à l'art des ensembles.

La plus belle normalisation est d'origine française. C'est le système métrique, base de toutes les autres, actuellement universellement adopté. En choisissant un système d'unités qui puisse devenir mondial, la Convention s'est acquis la même gloire que les Phéniciens en traçant l'alphabet.

Le module des mécaniciens est le millimètre, quantum grand pour un physicien, mais tout de même assez fin pour simuler la continuité mécanique. D'ailleurs, il est, théoriquement, facilement divisible. Toutefois, les ouvriers appellent bâtarde des cotes qui ne s'expriment pas par des chiffres ronds. Ce souci d'éviter les nombres fractionnaires est très grand : certaines pièces, symétriques par rapport à un axe, ne portent que des cotes diamétrales en nombre pair de millimètres, de sorte que les distances à l'axe soient exprimées en nombres entiers. Le grand principe normalisateur des séries est aussi d'origine française, et les commissions internationales l'ont baptisé « système Renard », en l'honneur du génial colonel qui l'avait imaginé pour les besoins de l'aéronautique militaire. Il est donc injuste d'accuser les Français d'être individualistes jusqu'à l'extravagance.

Les Français ont joué un rôle capital dans l'établissement de ce facteur essentiel d'ordre et de discipline internationale. La France, pays de mesure, distingue, il est vrai, entre besoins individuels et besoins collectifs. Le Français n'admet pas qu'on normalise sa façon de penser ou sa méthode d'éducation familiale des enfants. Par contre, il se réjouit de posséder des pneus et des accus normalisés, et de savoir que les boîtes de sardines et les têtes de bielles ont des formes normalisées.

Le peuple qui a édifié les cathédrales gothiques de Reims et d'Amiens, complètement normalisées, dans le plan comme dans le détail, a un tempérament d'artiste ; il sait concilier les règles de l'harmonie et des proportions. Il ne saurait recevoir des leçons de pays qui ont normalisé la façon de respirer, de marcher en troupeau ou de lire son journal, non plus que de pays qui n'ont pas encore adopté le système métrique et qui tenaient leur comptabilité publique, jusqu'en 1826, à l'aide de baguettes encochées.

Ces pays ont-ils oublié que le mot « standard » est un vieux mot français qui signifiait pavillon national et qui couvrait, par conséquent, de la bonne marchandise ?

Les Français savent coordonner leur liberté individuelle avec un désir de normalisation dans la cité planifiée et dans un monde ordonné. Les mécaniciens et les dessinateurs l'ont prouvé.

7. — Valeur de culture du dessin.

Le point de vue du professeur

La valeur pratique du dessin de machines est maintenant démontrée. Cette discipline aurait-elle, en outre, une valeur de culture ? En d'autres termes, l'étude du dessin de machines, si fructueuse pour ceux qui l'utiliseront dans leur métier, est-elle utile à ceux qui, leurs études finies, n'en auront plus l'usage ?

Cette question rallume une vieille querelle.

L'enseignement classique français attache une grande importance à l'étude de deux langues mortes, le grec et le latin, dont l'utilité est discutable. Le professeur de lettres est investi d'un rôle capital dans la formation de la pensée des étudiants. Non seulement il enseigne les formes correctes ou agréables du style, mais il est chargé de fournir le contenu de la phrase. Une dissertation, l'étude d'un texte, c'est avant tout une recherche d'idées.

Le professeur de dessin des écoles techniques joue un peu ce rôle. Jusqu'à ces dernières années, le programme des écoles techniques ne comportait aucun enseignement distinct de la technologie, ou science de la constitution, de la construction et du fonctionnement des organes de machines. Tous ceux qui ont appris le dessin de machines, même dans un but désintéressé, ont enrichi leur valeur intellectuelle. Peu de disciplines offrent un ensemble aussi cohérent de signes susceptibles d'exprimer une idée précise. L'esprit y puise jouissance et profit : sa netteté, sa clarté, sa vigueur sont favorisées.

Cette langue ouvre une littérature d'une immense richesse. La notation musicale, elle aussi internationale, et composée d'un petit nombre de symboles, lui est comparable à cet égard, mais les difficultés d'apprentissage et les ressources offertes laissent la supériorité au dessin de machines. Chaque semaine voit l'éclosion, dans chaque branche, de quelques centaines de dessins techniques qui méritent d'être connus. S'imprime-t-il autant de pages de bonne musique ?

Les langues mortes par les langues vivantes

Les humanistes prétendent qu'il faut passer par le grec et le latin pour arriver à la connaissance harmonieuse du français. De même serait-il avantageux d'enseigner systématiquement aux élèves le dessin, d'abord dans les conventions anciennes, pour arriver, *in fine*, aux nouvelles.

Les arguments ne manquent pas. Une plus grande difficulté serait, paraît-il, plus formatrice. La discordance entre le dessin ancien et celui dont l'industrie a besoin n'aurait pas d'importance : ce ne serait pas la seule discipline entachée de divergences entre les connaissances scolaires et les nécessités de la pratique (l'usage des logarithmes le prouve).

Mauvaises raisons ! Si l'utilisation des dessins anciens n'est pas à interdire absolument comme source de version, son étude doit être proscrite des écoles comme elle l'a été de l'industrie. Les thèmes seraient une hérésie pédagogique.

Complémentarité des divers modes d'expression de la pensée

Heisenberg introduisit dans les sciences physiques un principe qui, selon les cas, s'appelle, soit principe d'exclusion, soit principe de complémentarité.

Quel est celui de ces deux aspects qui prédomine dans les divers modes d'expression de la pensée ?

La phrase convient à l'expression de la pensée abstraite et à l'exposé des combinaisons et résonances poétiques.

La photographie convient au reportage. Elle fixe un ensemble (paysage, visage,...) d'une façon instantanée et objective.

L'art pictural interpose la personnalité de l'artiste entre la réalité et sa représentation.

Le dessin technique exprime lumineusement le monde, tous les jours plus vaste, des machines.

Phrase, photo, art pictural, dessin de machines, loin de se concurrencer, se rendent de mutuels services.

La France a joué un grand rôle dans la formation de ces quatre instruments de la civilisation écrite.

Pour le dessin de machines, son esprit logique se reflète dans les normes adoptées par l'univers après étude de l'I. S. A. Bientôt, il aura ses salons et ses musées. Ses revues sont de véritables anthologies. Ses professeurs : Druot, Norbert, Valmalette, Philippe, Breuil, . . . répandent les styles les mieux équilibrés. Ses ingénieurs échangent leurs idées avec le monde entier.

8. — L'avenir du dessin technique.

Que nous réserve, au lendemain de la victoire, l'organisation de la paix ?

Deux facteurs essentiels domineront le monde futur : le développement de l'activité technique et le resserrement des relations internationales. La machine, au service de l'homme, rapetissera le monde.

Le dessin de machines satisfait à cette double condition. Lien international de la pensée technique, il est prêt à jouer un grand rôle. Des organismes créateurs régleront son évolution et faciliteront sa diffusion. Par lui, l'épargne intellectuelle de l'humanité sera recueillie, transmise et multipliée.

Manuscrit reçu le 1^{er} Juin 1944

BIBLIOGRAPHIE

A notre connaissance, il n'existe aucun livre qui étudie le dessin de machines du point de vue du présent ouvrage. La bibliographie suivante sera donc indirecte.

Elle est divisée en trois parties :

— La première analyse les *ouvrages d'ordre général* ayant trait à la question.

— La deuxième énumère les *traités de dessin*, tous d'ordre *didactique*. Ils se préoccupent de faire apprendre plus que de faire comprendre, et insistent longuement, comme il se doit, sur les fautes à éviter. Les conventions ont rapidement évolué, et ont amené un vieillissement prématuré de certains. Parmi un assez grand nombre, déjà périmés, seuls sont cités ceux qui présentent un intérêt historique, tels que les traditionnels Coquelet ou Robinet (ce dernier cité dans le texte).

— La troisième catégorie constitue les *textes*, compléments indispensables des grammaires. Ces recueils de *planches*, en général présentés sous forme d'albums par feuilles séparées, sont très utiles pour les exercices scolaires de copie et de transformation.

Première catégorie : Ouvrages d'ordre général

— *Nouvelle Encyclopédie Française*, T. I, *L'outillage mental* : Exposé de l'évolution de la pensée humaine, divisé en trois parties : l'évolution de la pensée, le langage, les mathématiques. Cette dernière partie contient un très intéressant chapitre sur la topologie.

— *Nouvelle Encyclopédie Française*, T. VII, *La civilisation écrite* : ce chapitre comprend trois parties : le livre, la revue et le journal, la bibliothèque.

Ni l'un ni l'autre de ces deux volumes, si complets à certains points de vue, ne contiennent une allusion, même lointaine, au dessin de machines, qui aurait dû trouver place dans le premier, en tant que langue, et dans le deuxième, en tant qu'élément indiscutable de la civilisation écrite, car, sans lui, une part prépondérante de cette civilisation serait malaisément exprimable. Cette lacune (le mot même n'est pas cité) dans une entreprise ambitieuse, qui prétend être l'inventaire complet de nos connaissances, nous est garant de l'originalité de la présente étude.

— J. LAFFITE. — *Réflexions sur la Science des machines*. Cahiers de la Nouvelle Journée, N° 21, Paris Bloud et Gay, 1932, 122 pages). Dans cette brochure, remarquable par la largeur des vues et peu connue, l'auteur pose les fondements d'une science nouvelle, la mécanologie. Il évoque élégamment le problème de la représentation des machines. Mais, si les termes sont très généraux, ils sont un peu

vagues et assez confus. Pas une figure n'éclaire cette œuvre consacrée à la machine, et dont le chapitre sur le dessin a beaucoup vieilli.

— REULEAUX. — *Cinématique*. Plusieurs ouvrages sur les mécanismes font allusion à ce traité, en particulier les trois suivants :

— BRICOUT, *Cinématique et mécanismes*, Colin.

— HARTMANN, *Les mécanismes*, Baillères, 1925, 452 pages. Dans ce gros traité, les schémas sont dessinés au mépris, non seulement de toute convention admise, mais même de convention cohérente.

— MARCEL NICAISE. — *Les mouvements mécaniques*. Ouvrage illustré avec un grand souci de clarté et utilisant la notation de Reuleaux.

Sur le problème de la représentation :

JULIEN PACOTTE. — *La Pensée technique*. Alcan édit.. Ouvrage à prétentions philosophiques, essayant de préciser le problème de la représentation ; malheureusement, c'est du charabia. Le chapitre spécialement consacré à la question : reproduction de configurations, est aussi ténébreux que vide.

MARCEL BOLL. — *Le mystère des nombres et des formes*, Paris, Larousse 1941. Cet ouvrage contient d'intéressants aperçus sur le problème de la représentation des formes.

Enfin, on pourra consulter avec intérêt :

— ARMAND DE GRAMMONT. — *Le problème de la vision*, Flammarion.

— ANDRÉ GUILLAUME. — *La théorie de la forme*, Flammarion.

— PH. BERGER. — *Histoire de l'écriture dans l'Antiquité*, Paris, Imprimerie Nationale, 1891.

— PIUS SIRVEN. — *Le langage des sciences*, in *Scientia*, avril - mai 1937.

Deuxième Catégorie : Cours de dessin.

NOM DE L'AUTEUR	TITRE DE L'OUVRAGE	EDITEUR	OBSERVATIONS
Druot et Loubignac	Cours de dessin industriel.	Eyrolles	Le meilleur ouvrage moyen.
Norbert	Aide-mémoire de l'élève dessinateur.	L'auteur	Ouvrage d'initiation.
Morisse	Manuel du dessinateur industriel (2 vol.)	Baillères.	Le plus complet; un peu vieux.
Dupuis et Lombard	Cours de dessin industriel (2 vol. textes, 1 vol. planches).	Dunod.	Intéressant; un peu vieux.
Labbé et Druot . .	Enseignement du dessin industriel.	Eyrolles	Conseils pédagogiques.
Leplège	Le préapprentissage du dessin professionnel.	Nathan	Ouvrage élémentaire et clair.
Coquelet	Croquis coté.	Delagrave	L'ancien classique des taupins.
R. Fontaine . . .	Cours de dessin industriel.	Béranger	Ouvrage moderne et simple.
Sirre	Premières leçons de dessin industriel.	Dunod	Ouvrage moderne et simple.
Turpin	Cours de dessin.	Morin-Dunod	Ouvrage moderne et simple.

Troisième Catégorie : Recueils de modèles.

NOM DE L'AUTEUR	TITRE DE L'OUVRAGE	EDITEUR	OBSERVATIONS
Valmalette	Le dessin technique normalisé (1ère, 2ème, 3ème années).	Vuibert	moyen difficile facile ces ouvrages accompagnés de textes sont complets et pratiques.
Valmalette	Le dessin technique normalisé (4 ^e année)	Vuibert	
Valmalette	Le dessin technique à l'école primaire.	Vuibert	
Breuil	Dessin normalisé de machines modernes.	L'auteur	Clair, un peu sommaire.
Gourdou	Dessin de machines.	L'auteur	Assez difficile
Philippe	Exercices gradués.	L'auteur	Bon ouvrage.
E. F. I. B.	Collection de modèles de dessins de machines.	Lettres françaises-Beyrouth.	Morceaux choisis des auteurs précités.

